

# MŰSZAKI TUDOMÁNY

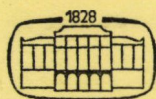
---

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

43. KÖTET

1—2. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1970

MŰSZ. TUD.

# MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

BARTA ISTVÁN, BÖLCSKEI ELEMÉR, GESZTI P. OTTÓ,  
LÉVAI ANDRÁS

43. KÖTET 1—2. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST V., MÜNNICH FERENC UTCA 7  
KIADÓHIVATAL: BUDAPEST V., ALKOTMÁNY UTCA 21

A *Műszaki Tudomány* változó terjedelmű füzetekben jelenik meg. Négy füzet alkot egy kötetet.

A kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudomány  
Budapest V., Münnich Ferenc utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbításáért nem vállal.

A *Műszaki Tudomány* előfizetési ára kötetenként 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest V., Alkotmány utca 21.) Pénzforgalmi jelzőszám 215—11488, külföldi megrendelések a „Kultúra” Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest I., Fő utca 32., Magyar Nemzeti Bank egy számlaszám: 43-790-057-181) útján eszközölhetők.



## CONTENT

|   |   |
|---|---|
| Major M.: 25 years of technical science ..... | 3 |
|---|---|

### EXTENDED MEETING OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES HELD THE 4TH FEBRUARY 1970.

|   |    |
|---|----|
| Bognár G.: Report on the Work of the Department of Technical Sciences in 1969 ..... | 5  |
| Annex to the Report of the Department Secretary .....                               | 11 |
| Contributions to the report of the Department Secretary                             |    |
| Korach, M. ....   | 30 |
| Széchy, K. ....   | 30 |
| Szigeti, Gy. ....   | 31 |
| Csáki, Fr. ....   | 32 |
| Eisler, J. ....   | 33 |
| Széchy, B. ....   | 33 |
| Verő, J. ....   | 34 |
| Reply of Bognár, G. to the contributions .....                                      | 34 |

## PAPERS

|   |     |
|---|-----|
| Bölcskei, E.: Life and Work of I. Menyhárd .....  | 35  |
| Lécsfalvy, S.: Hydrological Dimensioning of Water-Works Fed by Artesian Wells .....   | 47  |
| Hoffmann, Gy.—Bauer, F.: On the Liquid-Vapour System's Isochoric Change of State ..   | 65  |
| Száday, R.: Report on the Present State of the Hungarian Research-Work in the Field of<br>the Development of Steam-Turbines .....                               | 87  |
| Bitó, J. F.: Plasma Diagnostics with Laser Beams .....  | 107 |
| Lenszkij, V. Sz.: Study on the Plasticity Theorem of REUSS, Setting down an Alternative<br>Formulation .....  | 131 |
| Bogdán, M.—Székely, I.: The Position of Scientific Field Concerning Rotating Machines<br>and Transformers in Hungary .....                                      | 137 |
| Kollár, L.—Gárdonyi, Z.—Holnapy, D.: Bending Analysis of Symmetrically or Antimet-<br>rically Loaded Straight-Edge Shells with Surfaces of Fourth Order .....   | 151 |
| Farkas, M.—Köröndi, L.—Kristóf, L.—Szttnner, A., Tomka, P. and Visontai, J.: Model<br>Test on a Station of New Design for the Budapest Subway .....             | 183 |
| Brodszky, D.—Kovácsházy, E., Winkler, D. and Sitkei, Gy.: Report on the Present State<br>of the Hungarian Research Activity in the Field of i. c. Engines ..... | 203 |

## BOOKS REVIEW

|  |     |
|--|-----|
| Zement Taschenbuch (Goschy, B.) .....  | 221 |
| Proceeding of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculations (Barta, J.) | 221 |
| Falk, S.: Lehrbuch der technischen Mechanik (Barta, J.) .....                            | 222 |
| Schlitt, H.: Theorie geregelter Systeme (Csáki Fr.) .....                                | 222 |
| Irving, P. E.: Two-Stroke Power Units. Their Design and Application (Sitkei, Gy.) ....   | 223 |
| Broersma, G.: Applied Mechanics of Machine Elements in Advanced Use (Erney B.) ....      | 224 |
| Broersma, G.: Couplings and Bearings (Erney György) .....                                | 224 |
| Broersma, G.: Design of Gears (Erney György) .....                                       | 225 |
| Bryan, G. T.: Control Systems for Technicians (Helm, L.) .....                           | 225 |
| Kézdí, Á.—Markó, I.: Erdbauten (Széchy, K.) .....  | 226 |
| Verő, J.: Fémtan (Prohászka, J.) .....   | 228 |
| Information of the Institute for Light Weight Structures (IL) (Csonka P.) .....          | 229 |
| Engel, H.: Tragsysteme. Structure Systems (Csonka, P.) .....                             | 230 |

## TARTALOM

|   |   |
|---|---|
| <i>Major Máté: A műszaki tudomány huszonöt esztendeje</i> ..... | 3 |
|---|---|

### A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1970. FEBRUÁR HÓ 4-ÉN TARTOTT KIBŐVÍTETT OSZTÁLYÜLÉSE

|  |    |
|--|----|
| <i>Bognár Géza: Beszámoló a Műszaki Tudományok Osztályának 1969. évi tevékenységéről</i> ..... | 5  |
| <i>Függelék az osztálytitkári beszámolóhoz</i> .....   | 11 |
| <i>Hozzászólások az osztálytitkári beszámolóhoz</i>  |    |
| <i>Korach Mór</i> .....  | 30 |
| <i>Széchy Károly</i> .....   | 30 |
| <i>Szigeti György</i> .....  | 31 |
| <i>Csáki Frigyes</i> .....   | 32 |
| <i>Eisler János</i> .....  | 33 |
| <i>Szécheý Béla</i> .....  | 33 |
| <i>Verő József</i> .....   | 34 |
| <i>Bognár Géza válasza az elhangzott hozzászólásokra</i> .....                                 | 34 |

### TANULMÁNYOK

|   |     |
|---|-----|
| <i>Bölskei Elemér: Dr. Menyhárd István élete és munkássága</i> .....  | 35  |
| <i>Léczfalvy Sándor: Rétegyomámos artézi kutakra telepített vízművek hidrológiai méré-</i><br><i>tezése</i> .....   | 47  |
| <i>Hoffmann György Bauer Ferenc: Folyadék-gőz rendszer izochor állapotváltozásáról</i> ...  | 65  |
| <i>Száday Rezső: Tudományos helyzetkép a gőzturbinák területéről</i> .....  | 87  |
| <i>Bitó János: Laser-sugaras plazmadiagnosztika</i> .....   | 107 |
| <i>Lenszkij V. Sz.: A Reuss-féle képlékenységteljesítmény elmélet egy változata</i> .....   | 131 |
| <i>Bogdán Mihály—Székely István: A forgógépek és transzformátorok tudományterületének</i><br><i>hazai helyzete</i> .....  | 137 |
| <i>Kollár Lajos—Gárdonyi Zoltán—Holnappi Dezső: Negyedrendű felületű, egyenes peremű</i><br><i>hajlított hég számítása szimmetrikus és antiszimmetrikus teherre</i> .....         | 151 |
| <i>Farkas Mihály—Köröndi László—Kristóf László—Szűtner Antal—Tomka Pál és Visontai</i><br><i>József: A Budapesti Földalatti Vasút új típusú állomásának modellkísérlete</i> ..... | 183 |
| <i>Brodsky Dezső—Kovácsházy Ernő. Winkler Dezső és Sitkei György: Tudományos helyzet-</i><br><i>kép a belsőégésű motorokkal kapcsolatos kutatásokról</i> .....                    | 203 |

### KÖNYVSZEMLE

|   |     |
|---|-----|
| <i>Zement Taschenbuch (Goschy B.)</i> .....   | 221 |
| <i>Proceedings of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculations (Barta J.)</i> ..... | 221 |
| <i>Falk, S.: Lehrbuch der technischen Mechanik (Barta J.)</i> .....                                   | 222 |
| <i>Schliitt, H.: Theorie geregelter Systeme (Csáki Fr.)</i> .....                                     | 222 |
| <i>Irving, P. E.: Two Stroke Power Units. Their Design and Application (Sitkei Gy.)</i> .....         | 223 |
| <i>Broersma, G.: Applied Mechanics of Machine Elements in Advanced Use (Erney Gy.)</i> .....          | 224 |
| <i>Broersma, G.: Couplings and Bearings (Erney György)</i> .....                                      | 224 |
| <i>Broersma, G.: Design of Gears (Erney György)</i> .....   | 225 |
| <i>Bryan, G. T.: Control Systems for Techniciens (Helm L.)</i> .....                                  | 225 |
| <i>Kézdi Árpád és Markó Iván: Erdbauten</i> .....   | 226 |
| <i>Verő József: Fémten (Prohászka J.)</i> .....   | 228 |
| <i>Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL) (Csonka P.)</i> .....                 | 229 |
| <i>Engel, H.: Tragsysteme. Structure Systems (Csonka P.)</i> .....                                    | 230 |

### KÖZLEMÉNY

|   |     |
|---|-----|
| <i>A szakdolgozatok kéziratáról</i> ..... | 233 |
|---|-----|

## INHALTSVERZEICHNIS

|  |   |
|--|---|
| <i>Major, M.</i> : 25 Jahre der technischen Wissenschaften ..... | 3 |
|--|---|

### ERWEITERTE ABTEILUNGSSITZUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN AM 4. FEBRUAR 1970

|   |    |
|---|----|
| <i>Bognár, G.</i> : Bericht über die Tätigkeit der Abteilung der Technischen Wissenschaften im Jahre 1969 ..... | 5  |
| Anhang zum Bericht des Abteilungssekretärs .....  | 11 |
| Beiträge zum Bericht des Abteilungssekretärs  |    |
| <i>Korach, M.</i> .....   | 30 |
| <i>Széchy, K.</i> .....   | 30 |
| <i>Szigeti, Gy.</i> .....   | 31 |
| <i>Csáki, Fr.</i> .....   | 32 |
| <i>Eisler, J.</i> .....   | 33 |
| <i>Széchy, B.</i> .....   | 33 |
| <i>Verő, J.</i> .....   | 34 |
| <i>Bognár, G.</i> : Beantwortung der Beiträge .....   | 34 |

### ABHANDLUNGEN

|   |     |
|---|-----|
| <i>Bölcskei, E.</i> : Das Leben und die Arbeit von I. Menyhárd .....  | 35  |
| <i>Léczfalvy, S.</i> : Hydrologische Bemessung eines durch artesischen Brunnen genährten Wasserwerks .....  | 47  |
| <i>Hoffmann, Gy.</i> — <i>Bauer, F.</i> : Isochore Zustandsänderung eines Systems aus Flüssigkeit und Dampf .....   | 65  |
| <i>Száday, R.</i> : Bericht über die Lage der wissenschaftlichen Forschung in Ungarn auf dem Gebiete der Dampfturbinen .....  | 87  |
| <i>Bitó, J.</i> : Plasma Diagnostik mit Laser-Strahl .....  | 107 |
| <i>Lenszkij, V. Sz.</i> : Eine alternative Formulierung des REUSS-schen Plastizitätstheorems ..   | 131 |
| <i>Bogdán, M.</i> — <i>Székel, I.</i> : Die Lage der Rotationsmaschinen und Transformatoren in Ungarn aus wissenschaftlichem Gesichtspunkt .....  | 137 |
| <i>Kollár, L.</i> — <i>Gárdonyi, Z.</i> — <i>Holnapp, D.</i> : Berechnung von auf Biegung beanspruchten symmetrisch und antisymmetrisch belasteten Schalenflächen vierter Ordnung mit geraden Rändern ..... | 151 |
| <i>Farkas, M.</i> — <i>Köröndi, L.</i> — <i>Kristóf, L.</i> — <i>Szittner, A.</i> — <i>Tomka, P.</i> — <i>Visontai, J.</i> : Modellversuche über eine neue Stationslage der Budapester U-Bahn .....         | 183 |
| <i>Brodsky, D.</i> : Bericht über die Lage der Forschungsarbeiten in Ungarn auf dem Gebiete der Verbrennungsmotore .....  | 203 |

### BUCHBESPRECHUNG

|   |     |
|---|-----|
| <i>Zement Taschenbuch</i> (Goschy, B.) .....  | 221 |
| <i>Proceedings of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculations</i> (Barta, J.) .. | 221 |
| <i>Falk, S.</i> : Lehrbuch der technischen Mechanik (Barta, J.) .....                               | 222 |
| <i>Schlitt, H.</i> : Theorie geregelter Systeme (Csáki, Fr.) .....                                  | 222 |
| <i>Irvine, P. E.</i> : Two-Stroke Power Units. Their Design and Application (Sitkei, Gy.) ....      | 223 |
| <i>Broersma, G.</i> : Applied Mechanics of Machine Elements in Advanced Use (Erney, Gy.) ..         | 224 |
| <i>Broersma, G.</i> : Couplings and Bearings (Erney György) .....                                   | 224 |
| <i>Broersma, G.</i> : Design of Gears (Erney György) .....  | 225 |
| <i>Bryan, G. T.</i> : Control Systems for Technicians (Helm, L.) .....                              | 225 |
| <i>Kézdí, Á.</i> — <i>Markó, I.</i> : Erdbauten (Széchy K.) .....                                   | 226 |
| <i>Verő, J.</i> : Fémtan (Metallkunde) (Prohászka, J.) .....  | 228 |
| Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL) (Csonka, P.) .....                     | 229 |
| <i>Engel, H.</i> : Tragsysteme, Structure Systems (Csonka, P.) .....                                | 230 |



## СОДЕРЖАНИЕ

|  |   |
|--|---|
| М. Майор: 25 лет журнала «Технические науки» ..... | 3 |
|--|---|

### РАСШИРЕННОЕ ЗАСЕДАНИЕ ОТДЕЛА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, СОСТОЯВШЕЕСЯ 4-ГО ФЕВРАЛЯ 1970 Г.

|   |    |
|---|----|
| Богнар И.: Доклад о работе Отделения технических наук Академии наук Венгрии за 1969 г. .... | 5  |
| Приложение к докладу о работе Отделения .....   | 11 |
| Выступления по докладу о работе Отделения   |    |
| Корах, М. ....  | 30 |
| Сечи, К. ....   | 30 |
| Сигети, Д. ....   | 31 |
| Чаки, Ф. ....   | 32 |
| Эйзлер, Я. ....   | 33 |
| Сечи, Б. ....   | 33 |
| Верэ, Й. ....   | 34 |
| Ответ Г. Богнар по заслушанным выступлениям .....   | 34 |

### РАБОТЫ

|  |     |
|--|-----|
| Белькеи, Э.: Жизнь и труды Иштвана Меньхард .....  | 35  |
| Лецфальви, Ш.: Гидрологический расчет водопроводных станций, работающих на базе артезианских колодцев с пластовым давлением .....                                | 47  |
| Хоффман, Д.—Бауэр, Ф.: Об изохорном изменении состояния системы жидкость — пар .....   | 65  |
| Садаи, Р.: Научный обзор о положении в области паровых турбин .....  | 87  |
| Бито, Я.: Плазменная диагностика лазерным лучем .....  | 107 |
| Ленский, В. С.: Один вариант теории пластичности Reuss .....   | 131 |
| Богдан, М.—Секей, И.: Положение в Венгрии в области науки, занимающейся вращающимися машинами и трансформаторами .....   | 137 |
| Коллар, Л.—Гардонци, З.—Хольнапи, Д.: Расчет на симметричную и антисимметричную нагрузки гнутых оболочек с прямым краем и с поверхностью четвертой степени ..... | 151 |
| Фаркаи, М.—Керенди, Л.—Криштоф, Л.—Сиптнер, А.—Томжа, П.—Вишонтаи, И.: Моделирование станций нового типа Будапештского метрополитена .....                       | 183 |
| Бродски, Д.—Ковачхази, Э.—Винклер, Д.—Шиткеи, Д.: Научный обзор по исследованиям в области двигателей внутреннего сгорания .....                                 | 203 |

### [ОБЗОР КНИГ

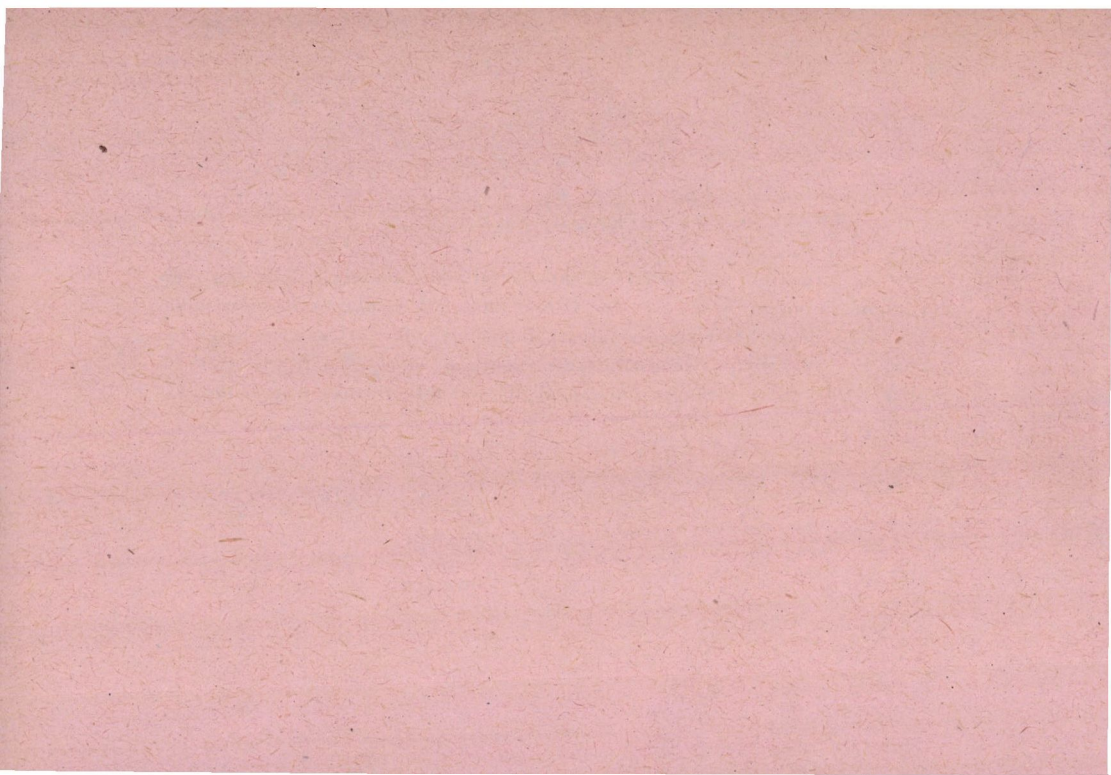
|  |     |
|--|-----|
| Справочник по цементам (Zement Taschenbuch) [Б. Гоши] .....  | 221 |
| Proceedings of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculations [Й. Барта] .....   | 221 |
| Ш. Фальк: Учебник по технической механике (Lehrbuch der technischen Mechanik) [Й. Барта] .....   | 222 |
| Г. Шлитт: Теория регулируемых систем (Theorie geregelter Systeme) [Ф. Чаки] .....  | 222 |
| П. Е. Ирвинг: Two Stroke Power Units, Their Design and Application [Д. Шиткеи] ..  | 223 |
| Г. Броерсма: Applied Mechanics of Machine Elements in Advanced Use [Д. Эрней] ..   | 224 |
| Г. Броерсма: Couplings and Bearings .....  | 224 |
| Г. Броерсма: Design of Gears [Д. Эрней] .....  | 225 |
| Г. Т. Бриан: Control Systems for Techniciens [Л. Хельм] .....  | 225 |
| А. Кезди и И. Марко: Земляные сооружения (Erdbauten) .....   | 226 |
| Й. Верэ: Металловедение [Й. Прохаска] .....  | 228 |
| Сообщения Института по легким плоским несущим конструкциям (Mitteilungen des Institutes für Leichte Flächentragwerke, IL) [П. Чонка] ..... | 229 |
| Г. Энгель: Несущие системы. Структура систем (Tragsysteme. Structure Systems) [П. Чонка] .....   | 230 |

## SZERZŐINKHEZ!

Az Akadémia *magyar nyelvű* folyóirataiban közzétett dolgozatok szerzői honoráriumára eddig lényegesen kisebb volt a *Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségéhez* tartozó lapok által fizetett szerzői honoráriumnál. E visszas állapot megszüntetése végett az Akadémiai Kiadó az 1970. január 1-től kezdve a *magyar nyelvű* akadémiai folyóiratok szerzői honoráriumát jelentősen felemelte.

Budapest, 1970. március hó

A SZERKESZTŐSÉG





# MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

43. KÖTET



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1970



## A MŰSZAKI TUDOMÁNY HUSZONÖT ESZTENDEJE

A felszabadulás, különösen azonban a Magyar Tudományos Akadémia 1949-ben történt átszervezése óta, a szocializmus-építés alapvető feltételeinek megteremtésével, ennek egyik döntő fontosságú eszközében, a műszaki tudományban is hatalmas fejlődés indult meg.

Égetően szükséges volt már ez, mert éppen ezen a széles tudományterületen — kölcsönhatásban iparunk fejletlenségével — alaposan lemaradtunk más országok mögött. Ez természetesen összefüggött Magyarország akkori gazdasági, társadalmi, politikai helyzetével egyaránt. Pedig nagyszerű tudósaink voltak már a XIX. század elejétől fogva, akik hírt, nevet, becslést szereztek a magyar tudománynak. És létezett már a Magyar Tudományos Akadémia is — hiszen idestova alapításának másfélszázados jubileumát ünnepeljük —, mely a maga nagy testületi súlyával, közéleti tekintélyével, és — kevésbé nagy — anyagi erejével, könyv- és folyóirat-kiadásával segítette a nagy alkotók munkáját. Mindez azonban nem volt elégséges ahhoz, hogy a magyar műszaki tudomány a maga egészében a kor színvonalára emelkedjék.

Az Akadémia felszabadulás utáni átszervezésének e vonatkozásban egyik legjelentősebb ténye volt a Műszaki Tudományok Osztályának létrehívása, s ebben, régi és új tagokként korunk műszaki tudósainak összefogása. Ennek kimondatlanul is az volt a célja, hogy az alkalmazott természettudomány egyes ágai, intenzívebb művelésük eredményeképpen, mielőbb közvetlenül termelőerővé váljanak. Hiszen a szocializmus alapvető célkitűzésének, az ember — a társadalom — életszínvonala állandó emelésének, direkt érvényesülő eszközei közül elsőek a műszaki tudomány egyes ágaiiban produkált eredmények.

A Műszaki Tudományok Osztályában összefogott műszaki tudományágak spektruma azonban igen szélesnek bizonyult. Annyira, hogy előbb a vegyészettudomány —, majd a földtudományágak kiválása és önálló osztályokká (a VII. és X. osztályá) való alakulása ellenére is a Műszaki Tudományok Osztálya még mindig összetettebb és sokarcúbb a többi tudományos osztálynál. Ezt az egyes, még mindig több ágat egyesítő tudománycsoportok elnevezésének egyszerű felsorolása is bizonyítja: az Osztályban tömörülnek



ugyanis az automatikai és energetikai, a gépészeti és kohászati, a híradástechnikai, a mérnöki-építészeti és közlekedési tudományágak csoportjai, kerekükön belül összesen két intézettel, tizennyolc bizottsággal, egy munkabizottsággal, kilenc tanszéki munkaközösséggel és egy patronált tanszékkal (az albizottságokat és szakbizottságokat nem is számítva). Ez az oka talán, hogy, noha maga az Osztály az átlagnál magasabb hányaddal részesül az Akadémia egyre növekvő költségvetéséből és egyéb javaiból, tudományágakra bontva ez még mindig jelentősen alatta marad az átlagos részesedésnek és a tényleges szükségleteknek. Persze minden kielégített szükséglet új meg új szükségletet szül, és a magyar műszaki tudomány előtt valóban a még el nem végzett, és a majd elvégzendő feladatok tömege tornyosul. Ez pedig nemcsak az erkölcsi, hanem az anyagi támogatás fokozását is sürgeti. Ennek megállapítása — éppen a jubileum ünnepi atmoszférájában — nem az elégedetlenség hangja kíván lenni már csak azért sem, mert az eddigiek is a múltban a műszaki tudomány elképzelhetetlen hatalmas támogatását jelentették.

Külön kell megemlítenem, mint a magyar műszaki tudomány felszabadulás után kibontakozó és egyre növekvő állami támogatásának egyik komoly jelét, a műszaki tudomány teljességének publikálási lehetőségeit. Soha ennyi akadémiai szintű, műszaki, tudományos munka nem jelent meg magyarul és idegen nyelveken, mint az elmúlt huszonöt esztendőben. A műszaki tudomány akadémiai folyóirat-kiadása is ez időben bontakozott ki, kezdettől az *Acta Technica*-val, a *Műszaki Tudománynyal* (előzőleg *Osztályközlemények* címen) és, immár tizenharmadik esztendeje, az *Építés-Építészettudománynyal* (előzőleg *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* címen), jelenleg összesen évi százkilencvenöt ív terjedelemben.

A huszonötéves jubileumon, amikor megemlékezünk a magyar műszaki tudomány — néhány kiragadott tényéből is lemérhető — nagyszerű haladásáról, biztosra vesszük, hogy ez a fejlődés a következő negyedszázadban egyre növekvő lendülettel fog kiteljesedni, és nagyszerű eredményekkel fogja elősegíteni termelőerőink gazdagodását, életszínvonalunk emelkedését, a szocializmus megvalósulását.

Budapest, 1970. február.

Major Máté

# BESZÁMOLÓ

## A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

### 1969. ÉVI TEVÉKENYSÉGÉRŐL\*

BOGNÁR GÉZA

AKADÉMIKUS, OSZTÁLYTITKÁR

A Magyar Tudományos Akadémia 1970. évi közgyűlése az Akadémia, illetve az Akadémiához tartozó tudományos osztályok, köztük a Műszaki Tudományok Osztálya tevékenységét új alapokra helyezi. Ennek a hatása az egész magyar tudományos életre jelentős befolyással lesz.

A jelenlevők előtt jól ismertek a Magyar Szocialista Munkáspárt 1969 nyarán közzétett *tudománypolitikai irányelvei*. Ennek kidolgozásában a Műszaki Tudományok Osztályához tartozó akadémikusok, tudományosan minősített szakemberek közül számosan részt vettek. A tudománypolitikai irányelvek a tudomány hazai és nemzetközi szerepének, a hazai kutatásaink eredményeinek, a különböző kutatástípusok egymás közötti arányának, kutatásunk hatékonyságának elemzése alapján rámutatnak azokra a hiányosságokra, amelyeknek kiküszöbölésével a hazai kutatás eredményesebb lehet, és egyre nagyobb feladatokat vállalhat a társadalom számára alapvető fontosságú problémák megoldásában.

A kutatás irányításában és a kutatásban tevékenykedők számára hosszú időn keresztül meghatározó szerepet fognak betölteni azok az értékelések és elemzések, amelyeket a tudománypolitikai irányelvek tartalmaznak.

A technika és tudomány forradalmának időszakában, amikor a fejlett ipari országokban a tudomány ténylegesen termelőerővé vált, hazai viszonylatban is meg kell tenni azokat az intézkedéseket, amelyek következtében a tudomány elősegíti a társadalmi célok megvalósítását. A *tudomány termelőerővé válása* fejlett ipari országokban úgy jött létre, hogy a kutatást egyre inkább határozott célok elérésére irányították, és e célok elérésére egyre nagyobb anyagi erőt fordítottak. Ennek érdekében alapvetően meg kellett változtatni a tudomány, a termelés, a társadalmi célok kapcsolatát, és a spontán, véletlenszerű kapcsolat helyett célprogramok formájában szervezett kapcsolatot létesítettek a tudomány, a termelés és a társadalmi célkitűzések között.

A korszerű kutatás olyan széles körű anyagi házist, különleges eszközökkel való felszereltséget és specializált szakembereknek olyan komplex együtt-

\* Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának 1970. február hó 4-én tartott nyilvános ülésén.

működését igényli, amely csak a célprogram szerint előre elkészített tervek alapján biztosítható.

A *hatékony kutatás* előfeltételét képező anyagi ráfordítás — olyan kis országban, mint Magyarország — csak nagyon kevés, társadalmi szükségleteinkkel jól összehangolt cél megvalósítása esetén biztosítható. Nagymértékben rá vagyunk utalva a világ technikai és tudományos eredményeinek átvételére. A kutatás hatékonyságát hazánkban nemcsak az anyagi lehetőségek korlátozott volta, hanem helytelen felfogásból származó tényezők is csökkentik. Meg kell változtatni azt a szemléletet, amely a különböző tudományágak és kutatások közötti színvonalkülönbséget hangsúlyozza ki és a termelést, illetőleg a társadalmi célokat szolgáló kutatást alsóbbrendűnek minősíti. Törekednünk kell arra, hogy azok a tényezők, amelyek a tudományt a társadalmi céloktól elválasztják, minél kisebb súlyt képviseljenek, és meg kell találni a módját annak, hogy az alap- és alkalmazott kutatás minél hatékonyabban szolgálja a termelést.

Fejlett ipari államokban a *termelés és a kutatás viszonya* egyértelmű. A legmagasabb szintet képviselő termelés továbbfejlesztése csak új kutatási eredmények alapján lehetséges, és mindinkább igényli az alapvetően új felismerések és összefüggések alkalmazását. Hazai viszonylatban is általában a termelést csak ott befolyásolják új kutatási eredmények, ahol termékeink a világszintet elérik, és azokon a rendkívül gyorsan fejlődő területeken, ahol a kutatás és a termelés úgyszólván egyidejűleg történik. A tudományos kutatás irányításának egyik fontos feladata éppen azoknak a területeknek a felismerése és kiválasztása, ahol a továbbfejlesztéshez új tudományos eredményekre van szükség.

A tudománypolitikai irányelvek érvényesítése *jelentős feladatokat* ró az Akadémiára is. Az Akadémiára — mint ismeretes — kettős feladat hárul: mint az ország legfelsőbb tudományos fóruma befolyást gyakorol az országban folyó tudományos tevékenység egészére. Emellett irányítja saját kutatási bázisát. A tapasztalatok azt mutatták, hogy az Akadémia jelenlegi szervezeti keretein belül nem tud maradéktalanul megfelelni ennek az alapvetően kettős feladatnak. Intézeteinek tervszerű, felelős irányítására nem alkalmasak a tudományos testületek, az országos tudományos feladatok ellátását pedig az intézetek igazgatási terhei gátolták.

Most, amikor az irányelvekkel összhangban az *Akadémia átszervezésére* is sor kerül, nem feledkezhetünk meg arról, hogy a felszabadulás óta eltelt időben az Akadémia a magyar tudományos élet fejlesztésében kiemelkedő szerepet töltött be. A hazai tudományos kutatások jelentős részében az Akadémiának kezdeményező szerepe volt. Azonban a tudománnyal szemben támasztott igények az utóbbi években mindenütt a világon, így nálunk is, módosultak, és a korábban megfelelő szervezeti forma és működési keret már számos vonatkozásban nem felel meg.



Az idei közgyűlésen az Akadémia *testületi és kutatásigazgatási szervei szétválnak*. Az Akadémia tudományos testületi tevékenysége ezentúl kiterjed a hazai kutatás egész területére, különösen a természettudományi és a társadalomtudományi kutatások összehangolásában. Az eddiginél nagyobb súllyal kell figyelemmel kísérnie és értékelnie a tudományágak fő fejlődési irányait, ennek alapján javaslatokat kell kidolgoznia az egyes tudományterületek hazai fejlesztésére.

Az Akadémia társadalmi súlya várhatóan tovább növekszik azzal, hogy a kormány, valamint más irányító szervek felkérésére *véleményt nyilvánít* a tudománnyal kapcsolatos, illetve egyéb országos érdekű kérdésekben.

Az Akadémia *testületei* továbbra is részt vesznek a tudományos minősítés, a tudományos könyv- és folyóiratkiadás, valamint a nemzetközi tudományos kapcsolatok irányításában és fejlesztésében. Nyilvánvaló, hogy egyik alapvető feladata marad a testületnek az átfogó tudományos kérdések megvitatására, valamint a tudományos kutatási eredmények ismertetésére tudományos tanácskozások és tudományos ülésszakok szervezése.

Az Akadémia tudományos testületének a közgyűlés, az Elnökség, a tudományos osztályok és a tudományos bizottságok tekintendők. A tudományos osztályok száma a jövőben sem változik. A Műszaki Tudományok Osztálya testületi tevékenységét az eddigi kialakult keretek között, tagjain, illetve a tudományos bizottságokon keresztül látja el.

Az Osztály testületének hatásköréből az új szervezeti rendben az eddig hozzánk tartozott kutatóhelyek közvetlen irányítása, amely eddig az Osztály erőinek jelentős részét kötötte le, a *Természettudományi I. Főosztályhoz* kerül.

A *Műszaki Tudományok Osztálya* munkájának az Akadémia új alapszabályában foglaltaknak megfelelő megszervezése és elindítása az osztályülés sok munkát és körültekintést igénylő feladata. Az új helyzetben számos eddigi gyakorlati módszer felülvizsgálatra szorul.

Ismeretes, hogy az osztályvezetőség mellett a Műszaki Tudományok Osztálya területén 4 szakcsoport működik az adott területen tevékenykedő akadémikusok és néhány tudományok doktora részvételével.

A *szakcsoportok* átruházott hatáskörben az osztály hatáskörébe tartozó kérdéseket tárgyalnak, illetve feladatokat oldottak meg. A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó, viszonylag közeli eső tudományterületek képviselőinek szakcsoportba való összefogása helyes gyakorlatnak bizonyult, az egyes tudományos kérdések átfogóbb, de még érdemi megvitatása céljából. A szakcsoportok működtetése, illetőleg fenntartása az új szervezeti keretben is megfontolandó.

A másik kérdés, ami felmerül, a *bizottságok* átszervezésének kérdése. Három évvel ezelőtt hosszas előkészítő munka után az osztályhoz tartozó tudományos bizottságokat a korábbtól eltérő elveken szerveztük újjá. A meg-

előző időszakban a Műszaki Tudományok Osztályához tartozó bizottságok iparágak szerinti szervezésben működtek, a jelenlegiek megszervezése tudományáganként történt. Ez a bizottságszervezési alapelv helyesnek bizonyult a gyakorlatban is, azonban egyes tudományterületeken a bizottságokat nagyon leszűkített területre szerveztük. E tudományterületek fontosságának elismerése mellett ajánlatos megvizsgálni bizottságaink megújítása előtt azt a kérdést, hogy egyes tudományágak területén nem volna-e célszerű két, esetleg három tudományos bizottságot összevonni egy bizottságba. Ezt az alkalmat természetesen fel kell használni annak a megvizsgálására, hogy az elmúlt időszakban nem jelentek-e meg olyan új tudományágak, amelyeknek hazai fejlesztése fontos, és ezek fokozottabb támogatásához esetleg új bizottságok felállítása szükséges. Általában inkább a meglevő bizottságaink számának csökkentése lenne célszerű, mert így jobban biztosítható az akadémiai szempontok következetes érvényesítése, valamint a szükséges koordináció megteremtése.

A Műszaki Tudományok Osztályának *feladata* számos kérdésben eltér a többi tudományos osztály feladatától, de ez nem jelentheti és nem is jelentette azt, hogy a Műszaki Tudományok Osztálya tevékenységét az általános akadémiai keretek figyelembevétele nélkül kívánta volna gyakorolni. A felismert természettudományos összefüggéseknek a társadalom érdekében való hasznosítása, illetve a társadalom által a természettudományos kutatással szemben felvetett igényeknek a megfogalmazása a műszaki tudományok területén a legfontosabb feladat volt és lesz a jövőben is. Ezeknek a kérdéseknek a kidolgozásában a jövőben az osztályhoz tartozó bizottságoknak az eddiginél nagyobb mértékben kell résztvenni.

A Magyar Tudományos Akadémiának, ezen belül pedig a Műszaki Tudományok Osztályának jelentős feladatai lesznek a *távlati tudományos kutatási terv*, valamint a különböző *ágazati célprogramok* kidolgozásában, illetve felülvizsgálatában. Az ország távlati 15 éves kutatási tervét az Akadémia és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság elnökének ajánlása alapján a kormány illetékes elnökhelyettesének irányítása alatt álló Tudománypolitikai Bizottság hagyja jóvá. A kutatási vázlatot az illetékes főhatóságoknak még 1970-ben be kell nyújtaniuk az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsághoz és az Akadémiához. E feladat az Akadémia testületi szerveire nagy munkát és rendkívül nagy felelősséget is ró.

Az akadémiai befolyás növekedéséhez olyan *új anyagi eszközök* rendelkezésre bocsátása lenne szükséges, amelyek lehetővé tennék, hogy az Akadémia a testületei által fontosnak tartott tudományterületeken folyó kutatásokat az Akadémián kívüli intézményeknél is közvetlenül támogatni tudja.

Az Osztály testületi tevékenységében az új helyzetben a korábbinál nagyobb súllyal vetődik fel a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségével való kapcsolataink eddiginél szervezettebb formában való kiépítése.

A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó kutatási intézmények és kutatóhelyek a jövőben a Természettudományi I. Főosztály közvetlen irányítása alatt működnek. A Természettudományi I. Főosztályhoz tartoznak még a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályának, a Kémiai Tudományok Osztályának, valamint a Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának kutatóhelyei is, ami az Akadémia anyagi eszközeinek mintegy 67%-át, létszámának pedig mintegy 65%-át jelenti. E több nagy tudományterületet átfogó Főosztálynak munkájában támaszkodnia kell az illetékes tudományos osztályok testületei által adott véleményekre, ajánlásokra.

Az *Akadémia szervezetének és működésének* olyannak kell lennie, hogy feleljen meg az ország mindenfajta tudományos problémájában való közreműködésnek, és alkalmas legyen néhány fős kutatócsoporttól 1000 főt meghaladó kutatóintézetek irányítására. Véleményünk szerint a szervezeti kérdések és a működési szabályok további finomítása azzal az igénnyel, hogy még alkalmasabb legyen az említett feladatkör betöltéséhez, lényeges eredményre nem vezethet. A további feladatok a megoldandó tudományos problémákkal és kutatási feladatokkal kapcsolatban konkrét formában jelentkeznek. Éppen ezért rendkívül fontos, hogy a szervezeti keretek meghatározása és az Akadémia működésére vonatkozó alapszabályok rögzítése után törekedjünk az adott szervezeti kereteken belül, a megadott működési feltételekkel és az ezek által adott lehetőségek felhasználásával a konkrét tudományos kérdések és a konkrét kutatási feladatok megoldására.

A számos felvethető probléma közül emeljük ki azt a kérdést, hogy a Magyar Tudományos Akadémia új alapszabálya milyen, az *eddiginél kedvezőbb feltételeket* teremt meg a tudomány és a társadalmi célok összehangolásában.

Ez a kérdés azért kiemelkedő, mert akár az Akadémia igazgatási, akár a társadalmi funkcióját tekintjük, ez képezi jövő ténykedésünk gerincét. Meggyőződésünk, hogy a tudomány és a társadalmi célok összehangolásában mind akadémiai, mind országos viszonylatban a *Műszaki Tudományok Osztályának kiemelkedő szerepe* lesz.

Az alapszabály-tervezet 3. §-ának 1. pontja az *Akadémia feladatait* tartalmazza. Lényegében kimondja a kutatás eredményeinek gyakorlati hasznosítását, a kutatási munkának a társadalmi célokkal való összehangolását, hazánkban a szocializmus anyagi és kulturális feltételeinek erősítését. A kutatásnak társadalmi célokra való irányítását elősegíti az alap és alkalmazott kutatások megfelelő kapcsolata; az Akadémia igazgatási szervezetében a főosztályok az összetartozó alap és alkalmazott kutatásokat egyesítik.

Az Akadémia *társadalmi szervezetének* keretében az osztályoknak, a tudományági főosztályokhoz hasonló összefogása biztosítható a szakmánként illetékes alelnök vezetésével. Ezt a kapcsolatot az adott feladatoktól függően kell létrehozni, és nem szükséges, hogy azok állandó jellegűek legyenek. Jelentős mértékben növeli az osztályoknak a népgazdasággal való kapcsolatát az a

lehetőség, hogy az osztályok alapszabály értelmében minisztériumok és országos hatáskörű szervek képviselőit is tanácskozási joggal taggá választhatnak. Az Akadémia tudományos testületi tevékenységének keretében a tudomány és a társadalmi célok összehangolását segíti az Akadémia országos érdekű kérdésekben való vélemény-nyilvánítása és javaslatlatterele az alapszabály 4. §-ának 4. pontja szerint.

Az Akadémia *kutatóintézetei* számára az eddigieknél lényegesen több lehetőség van arra, hogy bekapcsolódjanak a konkrét népgazdasági célú kutatásokba. Intézeteink jövőben a kormánytól és az Akadémia irányító szerveitől vagy más tudományos irányító szervektől konkrét kutatási megbízásokat is kaphatnak, változatlanul megtartva annak a lehetőségét is, hogy szerződéses kapcsolatokat teremtsenek vállalatokkal vagy más szocialista szervezetekkel.

Az akadémiai intézeteknek költségvetésből való finanszírozása módot ad arra, hogy olyan kutatási feladatokat is vállaljanak, amelyek eredménye előre nem határozható meg, illetőleg a kutatási feladat elvégzése anyagi kockázattal jár. A költségvetésből való finanszírozás esetén ezt a kockázatot az állam vállalja magára. Indokolt az, hogy az Akadémia intézetei az országos és ágazati célprogramok tudományos alátámasztásában jelentős részt vállaljanak.

Elősegíti a társadalmi célok és a tudomány kapcsolatának előmozdítását a *tudományos minősítés* feltételeinek új meghatározása. Ennek keretében lényeges súllyal szerepel az alkotások tudományos minősítéssel való honorálása. Ha csak a tudományos publikációk számát tekintjük a tudományos minősítés alapjának, úgy elkerülhetetlen, hogy kutatóink olyan perifériális témákban legyenek érdekelve, amelyek távol esnek a világ tudományos haladásának fő irányaitól.

Az elmondottakban kiemeltém az Akadémia új alapszabályából azokat a feladatokat és intézkedéseket, amelyek a tudomány és a népgazdasági célok kapcsolatát szolgálják. A Műszaki Tudományok Osztályának, élve az alapszabályban megadott lehetőséggel, kiemelkedően fontos szerepe lesz e feladatok megvalósításában. Kérem ehhez az osztálytagok és az Osztályhoz tartozó bizottságok hathatós segítségét.

Az Akadémia tudományos osztályainak életében kialakult az a gyakorlat, hogy az évi közgyűlések alkalmával tudományos ülésszakot tartanak. E közgyűlés alkalmával erre nem kerül sor. Az elmondottakból látható, hogy a Magyar Tudományos Akadémia szervezete és működése alapvető változáson megy keresztül. Az erre való előkészítés az Akadémia vezetőitől és tagjaitól nagy erőfeszítést igényel. Ennek a nagy horderejű kérdésnek tudományos ülésszakkal való összekapcsolása szükségképpen oda vezetett volna, hogy a tudományos ülésszak iránti érdeklődés a korábbi évekhez képest jelentősen mecsappan. Ezért a Magyar Tudományos Akadémia Elnöksége önálló tudományos ülésszak összehívását határozta el Magyarország felszabadulásának

25 éves jubileuma alkalmából, amelynek során az Akadémia beszámol az új társadalmi keretek között az elmúlt 25 évben végzett tudományos munkájáról.

Ezzel a szóbeli beszámoló végéhez érve, őszinte köszönetemet fejezem ki mindazoknak, akik az elmúlt időszakban a Műszaki Tudományok Osztályát munkájában közvetlenül vagy közvetve segítették.

## FÜGGELÉK

### AZ OSZTÁLYTITKÁRI BESZÁMOLÓHOZ

#### Az osztályvezetőség munkája

Az osztályvezetőség az elmúlt közgyűlés óta öt ülést tartott. Munkáját a Magyar Szocialista Munkáspárt tudománypolitikai irányelveiből és a közgyűlési határozatokból az Osztályra háruló feladatok határozták meg.

Az elmúlt évekhez hasonlóan az osztályvezetőség tevékenységének súlypontjában az Osztályhoz tartozó kutatóbázis tudományos munkájának elvi irányítása és továbbfejlesztése, illetve a fejlesztés lehetőségeinek az előkészítése állt. Ehhez komoly segítséget nyújtott az a vizsgálat, amelyet az akadémiai intézetekre az Elnökség 14/1968. sz. határozatával rendelt el. A tudományos fejlődés meggyorsulása következtében ugyanis szükségessé vált, hogy az Elnökség nagyobb időközben összefüggően megvizsgálta a főhivatású akadémiai intézetek profilját, tudományos munkájuk irányát és jellegét, valamint szervezeti felépítését olyan javaslatok kidolgozása és intézkedések megtétele érdekében, amelyek megvalósítása nagyban előbbre viheti az egyes intézetek fejlődését. Az Elnökség által kiküldött bizottságok az ütemtervnek megfelelően az Osztályhoz tartozó két kutatóintézetet megvizsgálták és tapasztalataikat jelentésben foglalták össze, amely kiterjedt az intézet helyzetére tudományterületén, az intézet vezetésére és szervezetére, továbbá az intézet és az Osztály kapcsolatára.

A műszaki mechanika tudományterületének fejlesztésével kapcsolatosan az elmúlt időszakban további lépések történtek. Megalakult az Akadémiai Mechanika-kutatások Intézőbizottsága, amely első ülésén javasolta a Nehézgépészeti Tanszéki Munkaközösséghez tartozó miskolci Mechanika tanszék átalakítását önálló támogatásúvá. Minthogy az illetékes pénzügyi szervektől kapott tájékoztatás alapján az átszervezésnek pénzügyi akadályja nem volt, az osztály az átszervezést 1970. január 1-vel végrehajtotta.

Az Osztály feladata volt az első 3 éves kutatási tervperiódus értékelése és az új 3 éves kutatóhelyi tervek felülvizsgálata. E munkában a szakcsoportokon és tudományos bizottságokon keresztül az osztálytagok is részt vettek. Első alkalommal történt, hogy a beszámolójelentéseket és az új kutatási terveket egyidejűleg lehetett véleményezni mind az Akadémia, mind a Művelődésügyi Minisztérium által támogatott kutatóhelyeknél.

A véleményezés az évekkel ezelőtt kialakított és a gyakorlatban jól bevált eljárással történt. E szerint a témabeszámolókat és terveket a témához közelálló, de a kutatástól független, 2—3 tagú szakértő bizottságok véleményezték írásos beszámoló és a legtöbb esetben a témafelelőssel a kutatóhelyen

folytatott beszélgetés alapján. Az írásos értékelést megtárgyalták a tudományterület szerint illetékes tudományos bizottságok, az egyes szakterületeken folyó kutatómunka egészéről pedig az akadémikus szakcsoportok adtak összefoglaló értékelést.

A beszámolójelentések és kutatási tervek tartalmilag igen gondos munkával készültek. A korábbi, sok esetben formális jelentésekkel összehasonlítva ezen is lemérhető, hogy az új gazdaságirányítási mechanizmus szellemében a kutatóhelyek vezetői egyre inkább átérzik a kutatás irányításával járó személyes felelősséget.

A beszámolójelentések értékeléséből megállapítható, hogy a kutatóhelyek az eredetileg jóváhagyott tervet általában teljesítették. A kisebb lemaradásokat a laboratóriumi feltételek, a kellő anyagi fedezet és létszámbeli hiány, illetve a műszerek vagy berendezések késedelmes leszállítása okozta. Az elért eredmények nemcsak arányban álltak a ráfordított szellemi és anyagi erővel, hanem több esetben kiemelkedő tudományos eredményekre vezettek, amelyek nemzetközi konferenciák alkalmával a külföldi tudósok érdeklődését is felkeltették. Az eredmények átadása az iparnak, illetve gyakorlati bevezetése folyamatban van. E tekintetben bizonyos előrehaladás ugyan tapasztalható, de az eredményekkel még mindig nem lehetünk elégedettek.

Az új 3 éves kutatási tervek már lényeges előrehaladást jelentenek az első 3 éves tervhez képest, bár még mindig nem sikerült maradéktalanul megvalósítani a témacsoportokban való tervezést. A témacsoportok több esetben egymással csak lazán összefüggő témák erőltetett összefogását tükrözik, más esetekben ismét szűkebb, témaszerű kutatásoknak témacsoporttá való előléptetéséből állnak. A tervekkel kapcsolatban készült tervtanulmányok tudományos jelentőségét is ki kell emelni. Az új gazdaságirányítási rendszer kedvező hatásaként a kutatóhelyek (témacsoportokon belül) olyan kutatási irányokat jelölnek meg, amelyek szorosabb kapcsolatot jelentenek a gyakorlattal.

Mind a beszámolójelentésekkel, mind az új kutatási tervekkel kapcsolatos véleményeket és megállapításokat az osztály írásban közölte a kutatóhelyek vezetőivel, illetve a támogatott tanszéki kutatóhelyeknél az egyetem rektorával.

A szakcsoportok munkájának középpontját továbbra is a tudományterületükhöz tartozó bizottságok tevékenységének és a kutatóhelyeken folyó tudományos munkának elvi irányítása képezte. A szakcsoportok ellátták a hatáskörükbe tartozó tudományszervezési feladatokat és ezzel — eredeti célkitűzésüknek megfelelően — jelentős segítséget nyújtottak az osztályvezetőségnek.

Az Osztályhoz tartozó bizottságok az elmúlt közgyűlés óta eltelt időszakban is változatlan aktivitással folytatták működésüket a már jól bevált munkamódszerek alkalmazásával. Tevékenységük súlypontját képezte továbbra is az Akadémia és a Művelődésügyi Minisztérium által támogatott tanszéki kutatóhelyek munkájának véleményezése, valamint újabb hazai és nemzetközi tudományos helyzetképek kidolgozása. Ezek mellett több bizottság megvitatta a tudományterületükhöz tartozó ipari kutatóintézetek és tudományos egyesületek munkáját is. Véleményezték az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság és más külső szervek által készített tanulmányokat, előírásokat és szabályzatokat, új kutatásokat kezdeményeztek, valamint tevékenyen közreműködtek a rendezvények előkészítésében és lebonyolításában. Ahol annak szüksége mutatkozott, újabb albizottságokat és munkabizottsá-

gokat alakítottak. Külön ki kell emelni, hogy a bizottságok tevékenysége az Akadémia küszöbönálló reformja ellenére nem csökkent, sőt fokozódott, ami alátámasztja azt a várakozást, hogy a bizottsági hálózat az új szervezetben is változatlanul el fogja végezni a rábízott feladatokat.

A külső szervekkel, ipari főhatóságokkal való kapcsolatok területén az elmúlt közgyűlés óta lényeges változás nem történt. Fejlődés mutatkozik a kutatóhelyeknél az együttműködési szerződések vonatkozásában. E helyen külön is ki kell emelni — mint az ipar és az akadémiai kutatóhelyek kapcsolatának követésre méltó példáját — azt a kereken két és fél millió forintot ki-tevő nagy összegű támogatást, amelyet a diósgyőri Lenin Kohászati Művek, az Ózdi Kohászati Üzemek, a Dunai Vasmű és a miskolci December 4 Dróty-gyár nyújtott a Kohászati Tanszéki Munkaközösséghez tartozó Fémtani tanszéknek egy elektronoptikai berendezés beszerzéséhez.

### Az osztályülés és a négy szakcsoport munkája

Az 1969. évi közgyűlés óta a Műszaki Tudományok Osztálya három *osztályülést* tartott. Az üléseken az osztálytagok figyelemmel kísérték az osztály tevékenységét, továbbá javaslatot tettek a beérkezett ajánlások alapján az 1970. évi Állami Díjra előterjesztendő személyek névsorára, valamint az új akadémiai levelező és rendes tagok választására.

A négy szakcsoport tevékenységének jelentősebb eredményei a következőkben foglalhatók össze:

Az *Automatikai és Energetikai Tudományok Szakcsoportja* két ülést tartott, amelyek napirendjén az esedékes tudománypolitikai és tudományos-vezési kérdéseket tárgyalta meg. A szakcsoport legfontosabb tevékenysége volt, hogy megvitatta az Energia Világkonferencia magyar nemzeti bizottságának szervezetével kapcsolatos elvi problémákat és javaslatot tett az új elnök személyére. Értékelte továbbá a tudományterületén dolgozó tudósok munkásságát, és az így kialakított vélemény alapján tett javaslatot az 1970. évi Állami Díj odaítélésére és az új akadémiai tagok megválasztására.

A *Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja* három ülést tartott. A szakcsoport legjelentősebb munkája a kutatóhelyi témák kritikai értékelése volt. Ennek során a szakcsoport feltárta a szakterület nehézségeit, rámutatva arra, hogy sem a kutatókkal való ellátottság, sem a kutatóhelyek nemzetközi kapcsolata nem kielégítő. A bizottsági munka irányításával kapcsolatban ki-tűzte a megoldandó feladatokat. Komplex bizottságot alakított a nagyhőfokú kazán- és turbinaanyagok problémáinak feltárására, továbbá fiatal kutatók-ból témabizottságokat hozott létre az alakítási szilárdságnak és a súrlódás méré-sének vizsgálatára. A szakcsoport változatlan lendülettel folytatta a tudomá-nyos helyzetképek kidolgozását.

A *Híradástechnikai Szakcsoport* négy ülést tartott. A szakcsoport leg-jelentékenyebb munkája volt a Műszaki Fizikai Kutató Intézetben folyó kutatások értékelése az intézet tudományos tanácsának vitaanyaga alapján. Folytatta a szakcsoport a tudományos helyzetképek elkészítését és lépéseket tett azok gyakorlati felhasználása érdekében. A szakcsoport állást foglalt egy önálló híradástechnikai kiadvány tárgyában, amelynek célja lenne a Műszaki Fizikai Kutató Intézet, a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet és a Távközlési Kutató Intézet tudományos dolgozatainak gyors közzététele.

A *Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja* négy ülést tartott. A szakcsoport szerteágazó tudományterületének koordinálása, valamint a tudománypolitikai és tudományos szervezési feladatok összehangolása mellett elsősorban arra törekedett, hogy a bizottságok tudományos irányítása minél hatékonyabb legyen. Ennek érdekében a bizottsági munkatervek jóváhagyásánál iránymutatásokat adott, és koordinálta azokat. Figyelemmel kísérte a szakterületéhez tartozó rendezvényeket, és értékelte azokat. Megvizsgálta a szakterületéhez tartozó tudományos egyesületek munkáját, és javaslatot tett az együttműködés kiszélesítésére. Bírálta a szakterületen megjelent könyveket.

## Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek és bizottságok munkája

### *Automatikai és energetikai tudományok*

#### *Bizottságok*

Az *Automatizálási Bizottság* több fontos problémakört tárgyalt. Meghallgatta az IFAC magyar nemzeti bizottságának beszámolóját a varsói kongresszus előkészületeiről, illetve az ott szerzett tapasztalatokról, és az állásfoglalások tekintetében elvi határozatokat hozott. A bizottság megvitatta az automatizálás területén fennálló nemzetközi kapcsolatok helyzetét, és megállapította, hogy a legeredményesebb forma az intézetek vagy egyetemek között létesített, meghatározott kutatási feladatok megoldására irányuló közvetlen kapcsolat. Az OMFB Állandó Automatizálási Bizottságának tevékenységével foglalkozva megállapította, hogy hazai viszonylatban a legeredményesebben művelhető terület a számítógépgyártás. Az ipari kutatóintézetek automatizálási tevékenységét vizsgálva arra az álláspontra jutott, hogy a kutatás esetenként megközelíti a világszínvonalat, és az alkalmazott kutatások mellett az elvi alapkutatás sem szorul háttérbe. A bizottság 4 ülést tartott.

Az *Elektrotechnikai Bizottság* feltárta az operációkutatási módszerek alkalmazását a villamosenergia-iparban, és megjelölte a továbbfejlesztés, valamint az érdekelt kutatószervek együttműködésének kiterjesztésére irányuló lehetőségeket. Részt vett az OMFB „A távlati villamosenergia-igények elemzése” tanulmányának megvitatásában, és értékes szempontokat adott a távlati terveknek a matematikai-statisztikai módszereken alapuló kidolgozáshoz. A bizottság konzultációs és vitaüléseket is rendezett a villamosgépek tudományterületén (a zajproblémák, a törpemotorok, a nagy turbógenerátorok, az aszinkron motorok köréből) külföldi szakértők részvételével. A bizottság 2 ülést tartott.

A *Hőenergetikai Bizottság* az új gazdaságirányítási rendszer hatását vizsgálta az egyes szakágazatokban, és tevékenysége elsősorban a kutatások ipari hátterének tisztázására irányult. Ennek keretében foglalkozott az energiegépgyártó ipar műszaki fejlesztési célkitűzéseivel, és több (pl. a kazáncirkulációs vizsgálatokra, az elgőzölögtető készülékekre, a keverő előmelegítőkre vonatkozó) témakörben sikerült elérni, hogy állásfoglalása alapján a Nehézipari Minisztérium, illetve az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság ipari hátteret biztosított a kutatásokhoz. Az akadémiai és egyéb kutatóhelyek munkáját vizsgálva véleményével elősegítette a kutatások célkitűzéseinek helyes, a népgazdasági igényeknek megfelelő kialakítását. A bizottság 4 ülést tartott.



A *Villamosenergia közvetlen termelésének új eljárásai* munkabizottság figyelemmel kísérte és a kutatók bevonásával megvitatta a témakörébe eső hazai kutatásokat. Ennek során megállapította, hogy az Elméleti Villamosságtan Tanszék egy ipari szempontból is hasznosítható új mérés-technikai módszert dolgozott ki. A munkabizottság irányításával rendszeres MHD dokumentáció készül. A bizottság titkára részt vett a III. brüsszeli tüzelőanyag-elem szimpóziumon.

### *Automatizálási Kutató Intézet*

Az irányítástechnika elméleti kérdései témakörben további eredmények születtek a rendszeridentifikáció területén, továbbá újabb részeredményeket értek el az adaptív rendszer és nemlineáris rendszer vizsgálatában. A folytonos folyamatok irányítása területén üzemi körülmények között megindult a Péti Nitrogénművek számítógépes optimális irányításának bejárata, és nagyszabású kutatómunka folyik a kőolajfeldolgozás optimális irányításának kialakítására. Az ember—gép kapcsolatok tematikája mind a készüléképítés, mind a software vonalon lényeges új eredményeket hozott. Elkészült az interaktív tervezési módszer bevezetéséhez nélkülözhetetlen katódsugárcsőves megjelenítő készülékcsalád 1024 karakteres alfanumerikus változata, és a gépipar területén az interaktív tervezés számítógépes módszereinek kipróbálására „a sajtolástechnológiai berendezések önműködő szintézise és technológiája” című téma művelése. E témakörben számos, általánosan használható és nemzetközi érdeklődést kiváltott eredmény született; az eddig kidolgozott módszerek segítségével — alkalmazási részeredményként — elkészült egy korszerű dinamikus integrált áramkörü mérőautomata és egy PCM rendszer laboratóriumi mintája. A kis számítógépek alkalmazása területén előrehaladt a közvetlen digitális irányítási és üzemi-mérés adatfeldolgozó-rendszer kidolgozása. Az intézet több tanulmánnyal és berendezéssel segítette az országos számítógép-program elindítását. Eljárást és készüléket dolgozott ki az aszinkron motoros hajtások gazdaságos szabályozására, valamint egy- és háromfázisú biztonsági áramforrást adott át az iparnak a gyártás bevezetésére. Az intézet folytatta a pneumatikus logikai elemek családjának, illetve rendszereinek fejlesztését és újabb eredmények születtek a fluid-technológia területén.

### *Kalorikus Gépészeti Tanszéki Munkaközösség*

A hő- és anyagátadással kapcsolatos kutatás területén elkészült egy kompakt hűtőtorony és egy fűvókás kigőzölögtetéssel működő tengervíz-sótalanító berendezés kiviteli tervdokumentációja. Az ipari energiagazdálkodás témakörében kidolgozták a többkomponensű közegek expanziós szétválasztásának gépi számítási eljárását. A hőfokmezők és feszültségmezők analóg modellezésével foglalkozva vizsgálták a nagy erőművi kazánok tápvízbevezető furatainál kialakuló hőfokmezőt, amelynek során konstrukciós irányelvek kialakítására alkalmas eredményeket kaptak. A váltakozó jellegű terhelés okozta hőterhelés témakörében a dugattyú és más alkatrészek hőterhelésváltozását vizsgálták különböző terhelésmódoknál, illetve terhelésingadozásoknál, amelynek eredményeképpen új adatokat kaptak a traktorüzemben keletkező hőterhelésekre vonatkozóan. Az erőművek automatizálá-

sának rendszertechnikai vizsgálata során egyfelől összefoglalták a kazán-szabályozók optimális behangolásának elméleti alapismereteit és a gőzkazánok elméleti dinamikai vizsgálatát, másfelől izotópos módszerrel szénmalom-dinamikai vizsgálatokat végeztek, amely utóbbi mérés külföldi érdeklődésre is számottartó úttörő hazai kezdeményezés. Az izotóptechnika erőművi alkalmazása témakörben előkészületek folytak a szén-fűtőértékmérés laboratóriumi alkalmazására és a gamma-átsugárzásos sűrűségmérésen alapuló nagymodelles cirkulációmérés elvégzésére. A belsőégésű motorok hőátadási, hőterhelési és égési problémái témakörben a befejezkendezés vizsgálatára új, korszerű módszert vezettek be.

### *Villamosművek Tanszék*

A tanszék kiterjedt kutatómunkát végzett az energiarendszer egyes elvi és gyakorlati problémáinak megoldása területén. Megvizsgálták a nagy erőművi blokkok megbízhatósági kérdéseit, és ennek nyomán a gyakorlatban közvetlenül alkalmazható eredményeket kaptak. Megállapították az állomások előtti védett szakaszok hatásosság szempontjából célszerű hosszát. Vizsgálatokat végeztek a kompenzált középfeszültségű hálózati fojtótekercekek meghibásodási okainak megállapítására, és a kapott eredmények alapján javaslat készült a hasonló üzemzavarok megelőzési módszereire.

### *Gépészeti és kohászati tudományok*

#### *Bizottságok*

Az *Anyagvizsgálati és Hegesztési Bizottság* keretében három albizottság működik, amelyek meghívott szakértők bevonásával megvitatták a tartós-folyás vizsgálatát, a nagyszilárdságú szerkezeti acélok kérdését, a szerkezeti acélok átalakulását a hegesztési hőfolyamat hatására, valamint a vasbeton- és acélszerkezetek tűzvédelmét. A bizottság a Közlekedéstudományi Egyesülettel közösen egéssznapos ankétot rendezett „Műanyag a mélyépítő iparban” címmel. A bizottság 3 ülést tartott.

Az *Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Bizottsága* megvitatta a vegyipari és szárítógépek áramlás- és hűtéstechnikai viszonyainak helyzetképét, továbbá értékelte a Gépipari Tudományos Egyesület munkáját. Foglalkozott a magyar hőtechnikai kutatások helyzetével és a csővezetékeken történő anyagszállítás területén folyó hazai kutatással, valamint az eredmények gyakorlati felhasználásával. Megrendezte a hazai és nemzetközi vonatkozásban sikeres *III. Áramlástechnikai Konferenciát*. Eredményes munkát végzett a tudományos helyzetképek kidolgozása területén. A bizottság 3 ülést tartott.

Az *Elméleti Technológiai Bizottság* keretében két albizottság működik. A Forgácsolási Albizottság a finomfelületi megmunkálások továbbfejlesztésére munkabizottságot alakított, amely elkészítette munkaterületének helyzetképét és a hazai teendő programját. Foglalkozott az albizottság a gyorsacél minősítésével is, amivel elvi segítséget nyújtott a Kohó- és Gépipari Minisztérium egy nagyszabású célprogramjának végrehajtásához. A Képlékenyalakí-

tási Albizottság a robbantásos fémalakítás hazai kutatását tárgyalta. A bizottság fiatal kutatókból munkacsoportokat szervezett a súrlódás és kenés, valamint az alakítási szilárdság tanulmányozására. A bizottság 2 ülést tartott.

A *Kinetikai és Kinematikai Bizottság* megvitatta a lengéstani kutatások egyes újabb irányait, a vízepítési műtárgyak hidrosztatikus rezgésjelenségeinek hazai vizsgálatát, valamint a vasúti pályafelépítmény és pálya kinematikáját. A bizottság négy munkabizottsága irodalmi munkássággal, a társadalmi egyesületek tudományos munkájával, a felsőoktatás helyzetével és a tudományterület káderhelyzetével foglalkozott. Az albizottság javaslatot készített a közép- és magas panelos épületek kötelező dinamikai próbaterhelésének előírására és a rezgésgerjesztő-berendezések mielőbbi alkalmazására. A bizottság javaslatot tett egy akadémiai konferencia rendezésére „Gépszerkezetek kinetikája és kinematikája” címmel. A bizottság 3 ülést tartott.

A *Kohászati Bizottság* keretében két albizottság működik. A Metallurgiai Albizottság négy helyzetképet dolgozott ki a tudományterületének kutatásaira és szakirodalmi ellátottságára. A Fémteni és Öntészeti Albizottság a Vasipari Kutató Intézetben folyó kutatómunkát véleményezte, és a fémteni eszköz-ellátottságra vonatkozóan helyzetképet készített. Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesülettel közösen megrendezte a nemzetközi szintű „V. Anyagvizsgáló Napok”-at. A bizottság 2 ülést tartott.

A *Szál- és Rosttechnológiai Bizottság* részletesen megvizsgálta, hogy melyek azok a népgazdaság számára fontos alapkutatási témák, amelyek az új gazdaságirányítási rendszerben támogatásra szorulnak. A textilipar területén folyó kutatómunka irányítására és koordinálására megállapodás jött létre a Könnyűipari Minisztériummal. Albizottság létesült az iparilag fontos komplex, illetőleg alapkutatási témák irányainak kijelölésére. Foglalkozott a bizottság a tudományterület felsőoktatási problémáival, és a szakember-szükséglet megállapításához adatokat gyűjtött. A bizottság 2 ülést tartott.

### *Áramlástechnikai Tanszéki Munkaközösség*

A zaj- és rezgésvizsgálat segítségével módszert dolgoztak ki a vízgépek vizuális megfigyelés elől elzárt helyein keletkező kavitációs folyamatok detektálására, és az eredmények alapján megállapították, hogy az eddig hidraulikailag kellően meg nem magyarázható jelenségekhez konkrét fizikai tartalom rendelhető. A kavitációs erózió okára korszerű, gyorsfilmezési eljárással új elméletet dolgoztak ki. Az áramlástechnikai gépek lapátozásával kapcsolatban általánosították az álló és forgó szárnyrácsok tervezésénél használt szingularitások módszerét, továbbá a geometriailag adott álló és szárnyrácsok sebesség-eloszlásának számítására a gyakorlatban közvetlenül felhasználható integrálegyenletes módszert dolgoztak ki. A járókerekekben kialakuló áramlás finomszerkezeti vizsgálata során igazolták a folyadéksúrlódásnak forgó térben mutatkozó sajátos hatására vonatkozó elméleti feltevéseket, és nemzetközi viszonylatban is újszerű eredményeket kaptak a forgó rendszerben kialakuló turbulens határréteg és sebességprofil sajátosságaira. Elméleti vizsgálatok eredményei alapján lehetővé vált az összenyomhatatlan közegre érvényes teljesítmény-jellemzők egyszerű átszámítása a kompresszibilis közeget szállító járókerekekre.

*Anyagszerkezeti és Anyagvizsgálati Tanszéki Munkaközösség*

A nagysebességű alakítás technológiájának továbbfejlesztése területén befejezettnek tekinthető a gépek konstrukciója és számítási módszere. Sikertisztázni a szerszámanyagok dinamikus igénybevételét, valamint a szerszámanyagok kiválasztásának és hőkezelésének tudományos alapjait. Összefüggést találtak a rideg- és képlékenytörés elméletének a fajlagos törési munka, illetve az Irwin-féle ridegtörés alapján történő kidolgozási elve között. Új, nemzetközileg is elismert eredményeket értek el a széndioxid-védőgázos hegesztés metallurgiai viszonyait, illetve az ömledék szilárdsági tulajdonságait befolyásoló villamos paraméterek hatása vonatkozásában. A cementek és betonok szilárdulási folyamatának, szerkezetének és határszilárdságának a gőzölésre való különös tekintettel folytatott kutatása területén új eredmények születtek a cementkő primer szerkezetének tömörsége, illetve a hidratáció, továbbá a cementörülő szilárdsága közötti összefüggésekre. A beton szilárdulását gyorsító aktivizáló szerek hatásának vizsgálata során eredményesen kísérelték meg az állandó mágneses és ultraszónikus keverővíz-aktiválást. A szuperképlékenység vizsgálata vonatkozásában sikerült formálisan értelmezni azt a tapasztalatból ismert tényt, hogy az egyenletes nyúlás annál nagyobb, minél nagyobb az alakítási sebesség-érzékenység.

*Kohászati Tanszéki Munkaközösség*

Új mérési módszert dolgoztak ki a súrlódási hő okozta felületi hőmérséklet meghatározására, valamint hideghengerléskor fellépő szalagfeszítő erő magnetoelasztikus elven történő megállapítására. Bevezették a Vickers-keményiségi számnál jobban használható normálkeménység fogalmát. Eljárást dolgoztak ki az ötvözetek anizotropiájának vizsgálatára. Az ötvözetlen acélok gyártásánál használt dezoxidálószerkekből származó zárványok mennyiségét és minőségét befolyásoló tényezőket vizsgálva kimutatták, hogy mely dezoxidálószerke alkalmasak a legkisebb oxigén- és zárványtartalmú acélötvözet elérésére. Az acélfinomító szintetikus salakok szerkezetének vizsgálata során egyes salakfajták szerkezete és viszkozitása között az üzemi salakok összetételének kialakításához közvetlenül felhasználható általános jellegű összefüggést állapítottak meg. Mérőberendezést fejlesztettek ki az ipari öntöttvasak minőségének ellenőrzésére és az öntvényporozitási hajlam megelőzésére. Új készüléket szerkesztettek a nedves formák gázáteresztő-képességének vizsgálatára.

*Nehézgépészeti Tanszéki Munkaközösség*

A hegesztett szerkezetek helyes kialakítását célzó kutatások témakörében a munkaközösség bekapcsolódott a KGST plazmatechnológiai szekciójának munkájába, és a plazmasugárral vágott felületek minősítési rendszerére javaslat készült. Hasznos részeredményt hoztak az alumínium hideg sajtoló hegesztésére végzett előkísérletek. A hegesztett varratok belső hibáinak statisztikai értékelésére módszert dolgoztak ki, amely lehetővé teszi az ötvözetlen lágyacél villamos hegesztésű kötéseinek megbízhatósági megítélését. A gyakorlati méretezéssel kapcsolatos kutatások területén a fogaskerék-bolygóművek elméleti vizsgálatai újabb eredménnyel zárultak. Az ívelt profilú csigahajtások vizsgálata

latára a tervezői gyakorlatban használható összefüggéseket sikerült megállapítani. A peremén hengeres gyűrűvel erősített körgyűrű alakú kúpra vonatkozóan meghatározták a kritikus terhelést, és elemezték a kritikus terhelés utáni viszonyokat. Összeállították továbbá az általános héjelmélet analitikus jelölésmóddal történő felépítését.

### *Híradástechnikai tudományok*

#### *Bizottságok*

A *Híradástechnikai Bizottság* a helyszínen tanulmányozta a Híradástechnikai Kutató Intézetben folyó kutatást az integrált szilárdtest-áramkörök területén, és arról a tapasztalatok alapján véleményt adott. Megtárgyalta a Nemzetközi Rádió Tudományos Unió magyar nemzeti bizottságának a Kanadában tartott közgyűlés számára készült beszámolóját, amely először adott összefoglaló áttekintést a Magyarországon folyó rádióelektronikai kutatásokról. Hozzászólt a közlekedésakusztikai koncepció kialakításához. A bizottság 2 ülést tartott.

#### *Műszaki Fizikai Kutató Intézet*

Az Intézet arra törekedett, hogy a távlati jellegű kutatások során vizsgált jelenségek között fennálló összefüggések feltárása alapján olyan eredményeket érjen el, amelyek az ipar számára is felhasználhatók. A félvezetők kutatása a vékony félvezető-rétegszerkezetek gyakorlati jelentőségének fokozódása következtében főleg a félvezető-határfelületekre irányult, és ezzel kapcsolatban különös súlyt fektettek a félvezető rétegek előállításának tanulmányozására. A rétegek előállítására szolgáló módszerek közül a vákuumban történő párologtatásnál elektronmikroszkópos és elektrondiffrakciós vizsgálatok segítségével a vékonyrétegek kezdeti struktúrájának és növekedésének egységes leírását adták. Megállapították, hogy a réteg kialakulásának kezdetén a kitüntetett orientációkat a rétegekben fellépő termodinamikai hatásokkal lehet magyarázni. Behizonyosodott, hogy egykristályos szubsztrátumon vákuumban kondenzált vékonyrétegek orientált növekedése az atomi távolságokat nagyságrendekkel meghaladó amorf közbenső réteg jelenlétében is lehetséges. Előállítottak félvezető- és szigetelőrétegeken az irodalomban leírt rétegek minőségével egyenértékű heteroepitaxiális rétegeket. Kidolgozták a germánium és szilícium heteroátmenetek készítése eljárásának laboratóriumi technológiáját, továbbá kvarc és zafír hordozón kristályos félvezető szilícium rétegeket állítottak elő. E munkák során új eredményeket értek el azáltal, hogy sikerült cinkszulfid kristályokra epitaxiális félvezető réteget növeszteniük. Új eredmény a germánium és szilícium elegykristályos rétegek előállítása is. A félvezetőkön mutatkozó fizikai jelenségek tanulmányozása során germániumban sikerült meghatározni és értelmezni a fononok szabad úthosszát. A cinkszulfiddal kapcsolatos vizsgálat során meghatározták a cinkszulfidban mozgó szabad elektronok effektív tömegét. E kutatásokat hathatósan segítették az intézet röntgenlaboratóriumában végzett vizsgálatok, amelyeknek egyik eredménye az a nemzetközi visszhangot keltett új módszer, ami lehetővé teszi a röntgenspektrum vonalprofil-analízise segítségével a kristály koherens tartomány méretének közvetlen meghatározását. A volfrámmal kapcsó-

latos kutatások több nemzetközileg új felismerésre vezettek, egyben számos olyan eljárást is kidolgoztak, amelyek a termelés szempontjából értékesek. Ennek során nagyérzékenységgű analitikai módszereket fejlesztettek ki a galliumnak, germániumnak és talliumnak volfrámban történő meghatározására. Új izotóptechnikai eljárást dolgoztak ki az oldékonyság meghatározására szilárd oldatokban. A további vizsgálatok megalapozására megkezdtek egy hazai építésű elektronsugaras zónaolvasztó-kemencével a 4 mm átmérőjű volfrámrudak zónás olvasztását. Továbbfejlesztették a volfrámredukció időbeli lefolyásának vizsgálatára szolgáló ismert módszereket. Vizsgálatokat végeztek a kálium- és germániumtartalmú volfrámtrioxid redukciós mechanizmusának meghatározására. Jelentős ipari haszonnal járó eredmény az ívleégést vizsgáló és megszüntető berendezés elkészítése.

### *Híradástechnikai Tanszéki Munkaközösség*

Kidolgoztak a tölcséres hangszórókra egy új, az ismert módszereknél jobb és pontosabb méretezési eljárást. Új módszert dolgoztak ki a SECAM színes televíziós módszer segédvívójének fázisváltására, amelynek eredményeképpen egyszerűsíthető a szerkezet, és javul a képminőség. A beszédhangkutatás területén előrehaladt a magánhangzó-felismerő gép elektronikus megoldása, amelynek eredményeképpen a gép már az öt alapmagánhangzó jelzésére alkalmas. A teremakusztikai témakörben gyakorlati felmérések folytak a hazai akusztikai rendeltetésű helyiségek adatainak meghatározására. Előrehaladást értek el az ultrahangos témakör területén a letapogató automatizmus építésében, valamint az ultrahangkád belső elnyelő kiképzésének megszerkesztésében és kivitelezésében. Eredményeket értek el a telefonközpontok számára szükséges miniatürizált kapcsolóelemek területén. A kisebbességgű adatátvitel céljára hibakorlátozó és adatelőkészítő egységet készítettek és katódsugárcsőves megjelenítőt építettek. Előrehaladtak a hálózatelmélet területén folytatott vizsgálatok az elektronikus áramkörök számítógépes tervezésére. A plazmafizika területén vizsgálták az ionoszférában történő hullámterjedést és új, általánosabb leírásmódot sikerült találni. Új eredményt kaptak a négyszögkeresztmetszetű félvezető rúd anyagjellemzőinek és reflexiók tényezőjének kapcsolatára. Új módszert dolgoztak ki a kerámiák hővezetőképességének mérésére. Az elektronoptika területén vizsgálták a többpólusú lencsék elektródformáinak a kép minőségére gyakorolt hatását és ennek alapján lehetővé vált a kvadrupol-lencsék aberrációjának csökkentése. Megadták a lineáris eloszlású mágneses térben mozgó relativisztikus elektronok pályaequációjának megoldását és ennek alapján új mágneses lencse-modellre tettek javaslatot.

### *Mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok*

#### *Bizottságok*

Az *Elméleti Mechanikai Bizottság* megvitatta a szerkezetek optimális méretezésével kapcsolatos hazai és nemzetközi kutatás helyzetét és az ezzel összefüggő feladatokat. Áttekintette a mechanikának a valóságosság-elméletre támaszkodó témakörei területén végzett hazai és külföldi kutatómunkát, és ennek alapján egy olyan munkacsoportot szervezett, amelynek feladata a hazai kutatások összefogása. Meghallgatta az „Operációkutatás az építészetben

és közlekedésben" munkabizottság beszámolóját, és határozatot hozott a témakör fejlesztésére. Eredményes rendezvényt szervezett „Szilárdságtani Kollokvium” címmel. A bizottság 3 ülést tartott.

Az *Építészetelméleti és Történeti Bizottság* gondozásában jelent meg az *Architektúra-sorozat* hatodik, LE CORBUSIER-ről szóló kötete, valamint a magyar műemléki topográfiák Heves megyei kötete. A műemlékvédelemmel kapcsolatosan a helyszínen tanulmányozta Hollókő népi műemlékeit, valamint várromjának restaurálását, és bírálatot készített a folyamathoz levő munkákról. Tevékenyen vett részt az ICOM konferencia előkészítésében és lebonyolításában. A bizottság 4 ülést tartott.

Az *Építészettudományi Bizottság* megvitatta a következő témákat: Ipari és mezőgazdasági üzemek koncentrált telepítése és tömbösítése; a hideg alakítású acél, valamint alumínium termékekből előállítható könnyű külső határoló szerkezetek alkalmazásának épületszerkezeti, épületfizikai és épületgépeszeti feltételei; koncentráció, specializáció, kooperáció és centralizáció az építőiparban; elemekből készült épületek épületfizikai és épületgépeszeti problémái. A bizottság 5 ülést tartott.

A *Talaj- és Kőzetmechanikai Bizottság* javaslatot tett az átmeneti talajok kutatására vonatkozó vizsgálatok elvégzésére. Foglalkozott a szakterület rendezvényeivel és elindította a 4. Talajmechanikai és Alapozási Konferencia előkészületeit, amelynek során szervező bizottságot alakított és rögzítette a konferencia témaköreit. A bizottság 4 ülést tartott.

A *Tartószerkezetek Mechanikája Bizottság* figyelemmel kísérte tudományterületének jelenlegi helyzetét, eredményeit és várható fejlődését. Koordinálta három albizottságának munkáját, és közreműködött a „Szilárdságtani Kollokvium” megrendezésében. A bizottság 3 ülést tartott.

A *Településtudományi Bizottság* megvitatta és véleményezte az Országos Településhálózat-fejlesztési Keretternv főbb előirányzatait, valamint a Budapest és környéke általános rendezési tervének felülvizsgálatára vonatkozó anyagot. Álláspontjáról az érdekelt szervezetet tájékoztatta. Véleményt adott az Országos Építésügyi Szabályzat átdolgozott tervezetéről, valamint a balatoni központi fejlesztési programról. A bizottság a Magyar Urbanisztikai Társasággal közösen kétnapos konferenciát szervezett „A városfejlesztés és az iparfejlesztés összefüggései” tárgykörben. A Konferencia eredményei elősegítik az e területen folyó kutatásokat, és hasznosíthatók a gyakorlati munkában is. A bizottság 3 ülést tartott.

A *Közlekedéstudományi Bizottság* megvitatta a Közlekedési Múzeum és a Közlekedéstudományi Egyesület tevékenységét, továbbá javaslatot tett egy Közlekedéskibernetikai Albizottság létesítésére. A bizottság tanulmányokat készített a közlekedéstudomány helyzetképének kidolgozásához. Három albizottsága megvitatta az önműködő vasúti kapcsolókészülékek kialakításának és hazai bevezetésének eddigi eredményeit, valamint további feladatait; megvizsgálta egy vontatási és hidraulikai hajómodell-kísérleti állomás létesítésének kérdését, valamint a hajózás távlati fejlesztésének problémáit; megtárgyalta az 1970. évi országos és budapesti forgalomszámlálás összehangolásával kapcsolatos tudományos problémákat. A bizottság tevékenyen részt vett a II. Nemzetközi Útügyi Konferencia megrendezésében. A bizottság 3 ülést tartott.

A *Vízgazdálkodástudományi Bizottság* foglalkozott a szennyvíztisztító telepek és berendezések üzemviteli kérdéseivel, a vízminőség ellenőrzésére és

szabályozására készülő Országos Építőipari Szabályzat tervezetével, valamint a második tiszai vízlépcső öntözőrendszerére vonatkozó tervezési módszerek elvi kérdéseivel. Irányította a természetes vízfolyásokon lezajló nem-permanens vízmozgások, a vízfelszín alakulása és a hordalékmozgás területén folyó kutatásokat. Meghatározta és öt fő témakörbe csoportosította a vízépítéshez szükséges alapozó kutatási igényeket. Javaslatot készített az újabb hidromechanikai fogalmak elnevezésével és meghatározásával kapcsolatos hatályos szabvány módosítására, illetve kiegészítésére. Foglalkozott az elektronikus számítógépeknek a hidrológia és hidraulika újabb területein való alkalmazásával. Közös publikációra előkészítette a magyar és bolgár akadémiai kutatások során elért szivárgáskutatási és öntözőrendszer-üzemi vizsgálati eredményeket. A bizottság 5 ülést tartott.

### *Építésztudományi Tanszéki Munkaközösség*

Az épületszerkezetek területén kidolgoztak egy, a diffúziós folyamatok káros hatásának elkerüléséhez szükséges ellenállási arányok meghatározására alkalmas módszert. Az ipari és mezőgazdasági építészet területén elkészült a Csepel Művek építésztörténetét tárgyaló tanulmány, és kidolgozták a burgonyatárolás technológiai és építészeti műszaki fejlesztésére vonatkozó javaslatot. A városépítés területén végzett kutatások eredményeként tanulmányok készültek. Az építésztörténeti területen elkészültek a NEUTRÁRÓL, BREUERRŐL, a magyar CIAM csoport 10 évéről és MÁLNÁIRÓL szóló kötetek kéziratai. A vízépítés területén felülvizsgálták a hordalékmozgás, valamint a különböző határállapotait jellemző kritériumokat és új összefüggéseket vezettek le. A cementszuszpenziókkal kapcsolatos vizsgálatok jelentős része befejezést nyert. A vízgazdálkodási területen komoly eredményeket értek el az esőztető fűtők hidraulikai vizsgálatánál a számítógépes kutatásokban.

### *Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközösség*

Eredményes kutatások folytak az építési mechanikai számítások elektronikus számítógépekkel történő végrehajtása, a rúdszerkezetek stabilitása, a nemlineáris és képlékeny szerkezetek statikai és dinamikai analízise, valamint a tetszőleges alakú tárcsák vizsgálata területén. A teherviselő szerkezetekre vonatkozó hazai szabványok átdolgozását megelőzően eredményes vizsgálatok folytak az acél-, vasbeton- és feszített-beton szerkezetek teherbírási problémái területén. A szabványok szövegezésénél a nyomott, a nyírt-hajlított rudak, valamint a gombafödémek teherbírásával kapcsolatos eredményeket figyelembe vették. Vizsgálták a feszültség koncentrációval és alaktényezővel összefüggő témákat, a kettős törés kérdését, különböző hőfok- és nyomásviszonyok mellett, valamint a forgácsolási folyamatoknak elektronikus számítógéppel történő modellezési lehetőségét. A szemcsés közegek területén folyó kutatások kiterjedtek a földet támasztó szerkezetek stabilitási vizsgálatára, az alapok és cölöpcsoportok teherbírásának meghatározására, valamint a közúti és vasúti alépítményekben keletkező dinamikus hatásokra. Az építési mechanika területén a lengéstan kérdések kerültek előtérbe, és ez irányban eredményes elméleti és gyakorlati vizsgálatok folytak.



### *Közlekedéstudományi Tanszéki Munkaközösség*

A munkaközösség kiemelkedő kutatási eredményeit legnagyobbbrészt a számítástechnika, illetve a kibernetika közlekedés-orientált felhasználása területén érték el. Így a számítástechnikai módszerek alkalmazásával lengésvizsgálatot folytattak a közúti járműveknél, továbbá a számítógépes adatfeldolgozással olyan statisztikai számításokat végeztek, amelyek fontos előrejelzéseket szolgáltatnak a közlekedéssel szemben támasztott követelmények emelkedésének dinamikájára vonatkozóan. Nemzetközi viszonylatban is újszerű információsrendszer-modellt és ennek alapján távadatfeldolgozó információsrendszer-tervezési módszert sikerült kialakítani. A számítástechnikának az úttervezésben történő felhasználása területén a gyakorlati hasznosításig haladtak előre. Eredményesen foglalkoztak az ország éghajlatának megfelelő korszerű vasúti felépítmény-karbantartás lehetőségeivel és módszereivel.

### **A kutatóhelyeken foglalkoztatottak helyzete**

Az Osztály kutatási bázisa két, együttesen 547 főt foglalkoztató intézetből, 9 akadémiai tanszéki munkaközösségből, továbbá két, az Osztálytól közvetlenül támogatott tanszéki kutatóhelyből áll. A 9 munkaközösségbe tudományágak szerinti csoportosításban 37 tanszéki kutatóhely tartozik. Az Osztály kutatóhelyein foglalkoztatott 719 akadémiai állományú dolgozóból 238 fő kutató (33%), 324 fő kutatási segédszemélyzet (45%) és 157 fő egyéb (adminisztratív stb.) személyzet (22%).

A kutatóhelyek személyzetének tudományos minősítés, nyelvtudás, továbbá szakmai és ideológiai felkészültség szerinti megoszlása jelenleg a következő:

Az *Automatizálási Kutató Intézet* betöltött kutatói létszáma 103 fő, amiből 18 fő (17%) rendelkezik tudományos fokozattal, mégpedig 1 akadémikus, 2 a tudományok doktora és 15 a tudományok kandidátusa.

Az Intézetben 45 szerzőtől 74 publikáció jelent meg magyar és idegen nyelven. 56 fő rendelkezik állami nyelvvizsgával. Közülük 15 fő 2 nyelvből, 6 fő 3 nyelvből, 1 fő pedig 4 nyelvből tett nyelvvizsgát. A nyelvvizsgák területén jelentős fejlődés tapasztalható. Az állami nyelvvizsgát tett dolgozók száma az elmúlt beszámolási időszakhoz viszonyítva 36 főről 56 főre emelkedett.

Az Intézet a már bevált ideológiai oktatásformát folytatta. A munkatársak szélesebb köre részére szervezték az időszzerű politikai kérdések témaköréből, a másikat — politikailag képzettebb munkatársak részére — vitakör formájában az elméleti és időszzerű politikai kérdések témaköréből. Komolyan végezték el 1969-ben a dolgozók minősítését, amely a munkafegyelem szilárdulásához vezetett.

A *Műszaki Fizikai Kutató Intézet* betöltött kutatói létszáma 65 fő, ebből 16 fő rendelkezik tudományos fokozattal (24%), mégpedig 2 akadémikus, 1 a tudományok doktora és 13 a tudományok kandidátusa.

Az Intézetben 51 szerzőtől 40 publikáció jelent meg idegen nyelven, és 31 szerzőtől 23 publikáció magyar nyelven. 42 fő rendelkezik állami nyelvvizsgával (64%), ami az előző időszakhoz képest (50%) igen nagy emelkedést mutat.

A minősítést az intézet gondosan végezte el. A munkáról adott összefoglalójelentésük elősegíti a személyzeti munkát.

A támogatott tanszéki kutatóhelyek betöltött kutatói létszáma 70 fő, 12 fő rendelkezik tudományos fokozattal, mégpedig 2 a tudományok doktora és 10 a tudományok kandidátusa.

A támogatott tanszéki kutatóhelyek publikációs tevékenységére ez idő szerint még nem állnak rendelkezésre hiánytalan adatok. A támogatott tanszéki kutatóhelyen dolgozók közül 19 fő rendelkezik állami nyelvvizsgával és közülük 8 fő tett 2 nyelvből nyelvvizsgát. Ezen a területen sem a korábban, sem az elmúlt időszakban megtett intézkedéseink hatásaképpen nem tapasztalható az intézetekhez hasonló fejlődés.

A tanszéki munkaközösségek tudományos dolgozóinak szakmai és politikai fejlődése általában kielégítőnek, sőt egyes esetekben jónak mondható. Emberi magatartásuk és a munkához való viszonyuk megfelelő. Az elmúlt időszakban mindössze egy fegyelmi vizsgálatot folytattunk le időszaki bércsökkentés büntetés kiszabásával. A tanszéki kutatóhelyeknél más munkaterületre való átirányítás a minősítések elvégzése után nem vált szükségessé. Két tudományos dolgozót kiemelt mérnöki munkakörbe soroltunk át.

Az ipari megbízások munkákban való részvételt az Osztály folyamatosan figyelemmel kíséri, és minden év végén a bekért jelentések alapján értékeli a helyzetet, ha pedig szükségesnek találja, intézkedéseket tesz.

### Az Osztály rendezvényei

#### Általános áttekintés

Az Osztály az elmúlt időszakban 10 tudományos tanácskozást rendezett. A 10 tanácskozás közül a Mérnöki-, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoportja 4, a többi szakcsoport 2—2 konferenciát tartott. A tanácskozásokon összesen kb. 710 hazai és 286 külföldi szakember vett részt. Ezenkívül 1969-ben a Műszaki Fizikai Kutató Intézet fennállásának 10. évfordulója alkalmából 2 napos tudományos ülésszakot rendezett.

A külföldi vendégek 7, hazai tudósaink 1 alkalommal tartottak *felolvasó ülést*.

#### Tudományos tanácskozások

A III. áramlástechnikai gépek és áramlástechnika konferencián az áramlás-technikai gépekkel és tudományokkal kapcsolatos újabb elméleti, kutatási, ill. gyakorlati eredmények és irányzatok kerültek megtárgyalásra. A rendezvény hozzájárult a szakterület tekintélyének emeléséhez, továbbá a Magyarországon alkalmazott elméleti számítási módszerek külföldön történő elterjesztéséhez.

A CIGRÉ (*Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques*) 32. számú bizottságának „Rendszertervezés” munkacsoportja ülést tartott, amely az egyes országok módszereit és gyakorlatát hasonlította össze; így értékes és hasznos információkat tartalmazott a résztvevők számára. A munkacsoport a villamos energiarendszer tervezési kérdései közül a termelő berendezésekkel és az azokat összekapcsoló hálózat optimális kialakításával foglalkozott.

A IV. félvezetők felületi fizikája munkaértekezlet keretében a szocialista országok képviselői találkoztak, hogy megtárgyalják országuk akadémiai intézeteiben folyó félvezető felületi kutatások eredményeit és terveit.

A plazmafizika és alkalmazásai konferencia hasznos lehetőséget nyújtott arra, hogy a magyar plazmafizikusok felújítsák, ill. kiszélesítsék kapcsolataikat külföldi kollégáikkal. Az elméleti, ill. gyakorlati téren dolgozó plazmafizikusok egymás munkáját megismerhették, és így a konferencia közelebb hozta a gyakorlati alkalmazáshoz az elméleti kutatásokat.

Az V. kohászati anyagvizsgáló napokat a Fémteni Albizottság a Magyar Bányászati és Kohászati Egyesülettel közösen rendezte. A tanácskozás jelentősen hozzájárult az albizottság által megadott szakmai irányelvek terjesztéséhez.

Az ICOM (International Commission of Museums) 17. számú bizottságának ülése most került először szocialista országban megrendezésre. Az ülés hozzájárult a magyar közlekedési muzeológia nemzetközi tekintélyének további emeléséhez.

A szilárdságtani kollokvium lehetőséget nyújtott arra, hogy az azonos szakterületen dolgozó kutatók egymást megismerjék, és munkájukban egymásnak ötletekkel és tapasztalatokkal segítségére legyenek. A hallgatóság az előadásokkal kapcsolatban számos kérdést intézett az előadókhoz, és ennek kapcsán élénk viták alakultak ki.

A városfejlesztés és az iparfejlesztés összefüggései konferencia anyaga a témakörben jelenleg folyó kutatások számára értékes kiindulásul szolgált. Az előadások felhívták a figyelmet egyes kutatási témák fontosságára, ami a tudományterület kutatóhelyeinek jövő évi programjában várhatóan tükröződni is fog.

Az operációkutatási konferencia célja az volt, hogy elsősorban a mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok szemszögéből bepillantást adjon az operációkutatás mai elméleti és gyakorlati problémáinak területére. Az egyes előadások átfogó képet adtak az operációkutatás egészéről és annak néhány időszerű főbb problémájáról.

A „Fluid elemek elmélete” szeminárium a moszkvai Institut Avtomatiki i Telemekhaniki és az Automatizálási Kutató Intézet között fennálló együttműködési szerződés keretében került megrendezésre. A szeminárium erősítette a szovjet és a magyar akadémiai intézet együttműködését, továbbá sikerült személyes kapcsolatok alapjait megvetni a fluid témában is.

### Felolvasó ülések

1969-ben az Osztály rendezésében a következő külföldi és hazai tudósok tartottak felolvasó ülést:

GÁBOR DÉNES, a Royal Society tagja, az MTA tiszteleti tagja: „Holográfia”;

GÁBOR DÉNES: „Az ipari civilizáció távlatai”;

B. J. PATON, akadémikus, az Ukrán Tudományos Akadémia elnöke: „A tudomány fejlődése Ukrajnában”;

V. N. GRIDNYEV akadémikus: „Nagysebességű hevítés hatása az acélok szerkezetére és tulajdonságaira”;

H. JORDAN, DR. ING.: a hannoveri Műszaki Egyetem Villamosgépek Intézetének igazgatója: „Aszinkrongépek válogatott problémái”;

H. JORDAN, DR. ING.: „Szinkrongépek”;

S. JUHÁSZ, az amerikai Applied Mechanics Reviews főszerkesztője: „Problémák a műszaki irodalom túltengésével kapcsolatban”;

POGÁNY FRIGYES, a műszaki tudományok kandidátusa: „Építészeti kritika” címmel.

### Az Osztály nemzetközi kapcsolatai

#### *Nemzetközi szervezetek*

A Műszaki Tudományok Osztálya 10 nemzetközi tudományos szervezet tagja, amelyek az egyes tudományterületek között a következőképpen oszlanak meg: Automatikai és energetikai tudományok 3, híradástechnikai tudományok 3, mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok 4. A gépészeti és kohászati tudományok területén jelenleg nemzetközi tagsággal nem rendelkezünk, folyamatban van azonban a belépés két nemzetközi szervezetbe. Valamennyi nemzetközi tudományos szervezetnek magyar nemzeti bizottsága van.

A nemzetközi szervezetek magyar bizottságainak múlt évi munkájából a következő fontosabb események emelhetők ki:

Az International Federation of Automatic Control (IFAC) 1969. évben Varsóban rendezett kongresszust, ahová a magyar nemzeti bizottság 6 dolgozatot küldött ki, amelyek közül hármat el is fogadtak. A kongresszusnak kb. 70 magyar résztvevője volt.

A World Energy Conference (WEC) nemzeti bizottságának képviselője részt vett az elmúlt évben Ankarában rendezett kongresszuson, ahol első ízben választották be Magyarországot a „nagyávolságú és nagyteljesítményű hőszállító rendszerek szakértő bizottságá”-ba. Magyar részről a szakértő bizottság tagja HELLER LÁSZLÓ akadémikus.

Az International Scientific Radio Union (ISRU) az 1969-ben tartott közgyűlés számára elkészítette a „Report of the Hungarian National Committee” c. jelentést a hazai tudományos eredményekről. A közgyűlésen BARTA ISTVÁN levelező tag és ROSKA TAMÁS vett részt a teljesítmény-etalonok összehasonlító vizsgálatával.

Az International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering Mexikóban rendezte 7. nemzetközi kongresszusát, amelyen Magyarországot egy fő képviselte.

#### *Utazások*

Az elmúlt évben az Osztály területén 216 kiutazás történt. Ebből 208 esetben akadémikus, ill. akadémiai állományú dolgozó, 8 esetben nem akadémiai állományú dolgozó utazott külföldre. A 8 nem akadémiai állományú dolgozó esetében 4 szakember részére nyújtott az Osztály anyagi, 4 szakember részére pedig erkölcsi támogatást.

A 208 kiutazásból 102 út költségét az Akadémia fedezte, 24 esetben intézeti forrítámogatással történt a kiutazás, 26 esetben a külföldi fél meghívására, 56 esetben pedig más szervek utaztattak akadémiai állományú dolgozót (az OMFB 14, a Metrimpex 7, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 4, a Szerszámgép Programozási Társulat 4, egyéb szervek 27 alkalommal). Ezekon kívül 5 esetben adott az Osztály kutatói részére tudományos célú kiutazásokhoz támogatólevelet.

Az 1969. évben a Szovjetunióval folytatott tudományos együttműködés új formája alakult ki, nevezetesen szovjet szakemberek meghívása munkavállalásra az Akadémia intézményeibe, valamint magyar szakemberek részére munkavállalás a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának intézményeiben. Ennek alapján egy tudományos munkatárs a Műszaki Fizikai Kutató Intézetből a leningrádi Joffe Intézetbe utazott 1 éves munkavállalás céljából. Az együttműködésnek ez a formája még közelebb hozza egymáshoz a partnerintézetek munkatársait, és még nagyobb lehetőséget nyújt egymás munkájának megismerésére, tehát jobb eredmények elérésére.

Az 1969. évben az eddigi évekhez viszonyítva több lehetőség nyílt hosszabb nyugati ösztöndíjas tanulmányutak elnyerésére. Így 1 kutatónk 18 hónapos Mombusho ösztöndíjjal Japánba utazott, 3 tudományos munkatárs számára Franciaországba tettünk lehetővé ösztöndíjas tanulmányutat, 1 személy 6 hónapos tanulmányutat tett az olasz—magyar műszaki-tudományos együttműködés keretében, 1 személy részére a Royal Society-val kötött egyezmény keretében 4 hónapos, 2 kutató részére pedig 6—6 hónapos devizafedezetes tanulmányutat tett lehetővé az Osztály Angliába. Ezen kívül az indiai—magyar kulturális csereprogram keretében 1 személy 2 hónapra Indiába látogatott, 1 tudományos főmunkatárs pedig UNESCO szakértőként másfél évre Brazíliába utazott. Demokratikus országokban hosszú-tanulmányúton 3 tudományos munkatársunk vett részt.

Az 1969. évi külföldi kiküldetések az egyes tudományterületek között a következőképpen oszlottak meg: automatikai és energetikai tudományok 109, gépészeti és kohászati tudományok 20, híradástechnikai tudományok 71, mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok 13, egyéb tudományterületek 3 kiküldetés.

### *Külföldi szakemberek fogadása*

Az elmúlt évben az Osztály összesen 73 külföldi vendéget fogadott. A 73 külföldi szakember közül az Akadémia meghívására a következő külföldi tudósok érkeztek hazánkba:

- B. HELLER professzor (Csehszlovákia),
- H. JORDAN professzor (Német Szövetségi Köztársaság),
- S. JUHÁSZ főszerkesztő (Amerikai Egyesült Államok),
- J. KOZESNIK akadémikus (Csehszlovákia),
- A. V. SCSEGLJAJEV professzor (Szovjetunió).

Az 5 meghívott külföldi vendég közül 4 az Automatikai és Energetikai Tudományok Szakcsoportjának tudományterületéhez tartozott. A vezető tudósok meghívásánál az Osztály minden esetben ügyel arra, hogy a szakterületek arányosan legyenek képviselve. A meghívások realizálása azonban nem mindig a tervek szerint valósul meg, ilyen esetekben a lehetőségekhez képest a következő évben pótolja az Osztály az elmaradást.

Az Osztály az elmúlt évben az akadémiai közötti egyezményes keretben 52 külföldi vendéget fogadott. Sajnálatos módon különösen az év végén többször előfordult, hogy egyes akadémiai az eredetileg bejelentett időponttól eltérően váratlanul küldték kutatóikat Magyarországra. Ez a hazai kutatók munkáját nagymértékben zavarta.

*Az Osztály által fogadott külföldi szakemberek megoszlása tudományterületek szerint*

| Tudományterület                                     | Egyezményes keretben | Meghívásra | Egyéb | Összesen |
|---|----------------------|------------|-------|----------|
| Automatikai és energetikai tudományok .....         | 13                   | 4          | 12    | 29       |
| Gépészeti és kohászati tudományok                   | 12                   | —          | —     | 12       |
| Híradástechnikai tudományok .....                   | 20                   | —          | 3     | 23       |
| Mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok ..... | 7                    | 1          | 1     | 9        |
| Összesen .....                                      | 52                   | 5          | 16    | 73       |

*Közös kutatási témák*

Az Osztály nemzetközi kapcsolatainak lényeges része a szocialista akadémiaikkal folytatott közös kutatások. Minden év végén mód van a témabeszámolóval egyidőben újabb témajavaslatok benyújtására, illetve korábbi témák megszüntetésére, ha azok már befejeződtek, vagy nem látszik lehetőség eredményes munka végzésére. Új közös kutatási téma csak akkor kerül a szerződésbe, ha az intézetek, illetve kutatóhelyek között már írásbeli megállapodás van, vagy a külföldi fél új téma felvételét kéri.

Az elmúlt időszakban 27 közös kutatási téma területén működtek együtt az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek a szocialista országok kutatóhelyeivel. A munkálatok tervszerűen folytak.

*Az Osztályhoz tartozó közös kutatási témák tudományterületek és országok szerinti megoszlása*

| Ország                               | Automatikai és energetikai tudományok | Gépészeti és kohászati tudományok | Híradástechnikai tudományok | Mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok | Összesen |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|----------|
| Bulgária .....                       | 1                                     | —                                 | —                           | 2   | 3        |
| Csehszlovákia .....                  | 2                                     | —                                 | 1                           | —   | 3        |
| Lengyelország .....                  | —                                     | 2                                 | 2                           | 2   | 6        |
| Románia .....                        | —                                     | 2                                 | 1                           | —   | 3        |
| Német Demokratikus Köztársaság ..... | —                                     | —                                 | 1                           | —   | 1        |
| Szovjetunió .....                    | 1                                     | 1                                 | 7                           | —   | 9        |
| Ukrán Tudományos Akadémia .....      | 1                                     | 1                                 | —                           | —   | 2        |
| Összesen .....                       | 5                                     | 6                                 | 12                          | 4   | 27       |

**Az Osztály könyv- és folyóiratkiadási tevékenysége***Könyvkiadási tevékenység*

Az elmúlt évben az osztály gondozásában összesen 12 mű jelent meg; ebből a 290 ívet kitevő osztálykeret terhére 10, a kiadói keretre pedig 2 mű esik. A művekből 5 monográfia, 5 kézikönyv, 2 konferencia kiadvány.

## Az osztály gondozásában megjelent művek a következők:

LUCIEN HERVÉ: Építészet és fénykép (Architektúra sorozat);  
 NAGY ELEMÉR: La Corbusier (Architektúra sorozat);  
 BEKE L.—VARGA Zs.: Kozma Lajos (Architektúra sorozat);  
 ENTZ GÉZA szerkesztésében: Magyar műemlékvédelem 1965—66;  
 KÉZDI Á.—MARKÓ I.: Erdbauten;  
 RADOS KORNÉL: Ipartelepek építésze, IV;  
 CZOBOLY ERNŐ szerk.: Proceedings of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculation;  
 SITKEI GYÖRGY: Keverékképzés és égés karburátoros motorokban;  
 CORROSION WEEK 4th Manifestation of the European Federation of Corrosion;  
 MAKHULT M.: Schwingungstechnische Bemessung von Maschinenlagerungen;  
 SEBESTYÉN GYULA: Die Grosstafelbauweise im Wohnungsbau;  
 NEMES TIHAMÉR: Cybernetic Machines.

A művek témája mind tudományos, mind népgazdasági szempontból fontos. A könyvek visszhangja az idő rövidsége miatt még nem ismeretes. A művek értékelésére a megjelenés után számított 2 év múlva kerül sor. Az osztály könyvkiadási tervében minden tudományág képviselve van, bár éves viszonylatban az arányok nem olyan kedvezők, mint a 3 éves időszakban végzett összehasonlítás esetén. Az elmúlt év folyamán az 1967. évben megjelent művek kerültek értékelésre, ahol az osztályvezetőség KÉZDI ÁRPÁD: Stabilizált földutak c. művét minősítette kiválónak. Ez a könyv 1966-ban a kiadói dívdíjat is elnyerte. Kifogásolható mű nem jelent meg. 1970. évre az osztály könyvkiadási keretét 290 ívről 400 ívre emelte az Elnökség. Előreláthatólag elég kézirat áll majd rendelkezésre már az év elején ahhoz, hogy a felemelt tervet az osztály teljesíthesse.

*Folyóiratkiadási tevékenység*

Az osztály gondozásában *három folyóirat* jelenik meg: idegen nyelven az *Acta Technica*, magyar nyelven a *Műszaki Tudomány* és az *Építés-Építészet-tudomány*. 1969-ben a szerkesztőséghez az *Acta Technica* és a *Műszaki Tudomány* részére 116 tanulmány érkezett be.

*Az 1969-ben megjelent folyóiratkötetek*

| Folyóirat                       | Kötet | Füzet | Tanulmányok száma | Ívterjedeleni |
|---------------------------------|-------|-------|-------------------|---------------|
| Acta Technica .....             | 4     | 16    | 114               | 120           |
| Műszaki Tudomány .....          | 1,5   | 6     | 33                | 45            |
| Építés-Építészet-tudomány ..... | 1     | 4     | 16                | 30            |
| Összesen: .....                 | 6,5   | 26    | 163               | 195           |

Az *Acta Technica*-ban az egyes szakterületek közötti arány megfelelő. Az *Acta Technica* 66/1—3. kötete különkiadványként is megjelent a *Villamos-energiapi Kutató Intézet* 20 éves fennállása alkalmából. Az *Acta Technica* egyik kötete teljes egészében az építészettörténeti tudományterületre vonatkozó cikkanyagot tartalmazott, ami az *Acta Technica* megjelenése óta első alkalommal fordult elő. Ebben 14 tanulmány foglalkozott építészet-

történeti és műemlékvédelmi problémákkal. A kötetet igen értékes recenziók egészítik ki.

A *Műszaki Tudományban* közzétette a szerkesztőség az 1968. évi közgyűlés, valamint a Közlekedéstudományi Ankét teljes tárgyalási anyagát. Az osztályvezetőség kezdeményezésére a szakbizottságoktól tudományos helyzetképek érkeztek be, amelyek megjelentetése a *Műszaki Tudomány* 42/3—4. számától folyamatos.

Az Osztályközleményeknek *Műszaki Tudomány* néven történő megjelentetése szerencsés módon azt eredményezte, hogy az új címszó következtében az érdeklődés a lap iránt megnövekedett. Az átfutási idő mindkét folyóiratnál általában 8—10 hónap között mozgott. 1969. január 1-től mindhárom folyóirat új címlappal jelenik meg. A lapok szaktanulmányokkal való ellátottsága az elmúlt időszakban kielégítő volt.

## HOZZÁSZÓLÁSOK

AZ OSZTÁLYTITKÁRI BESZÁMOLÓHOZ

KORACH MÓR

AKADÉMIKUS

Mint az Osztály régi tagja és a műszaki kémia egyik képviselője adom át a *Műszaki Tudományok Osztályának* a *Kémiai Tudományok Osztálya* szívélyes üdvözlétét.

Az Akadémia életében az a körülmény, hogy az osztályok mind mélyebben együttműködhetnek majd az új szervezeti szabályok alapján, óriási jelentőségű a tudomány mai átmeneti állapotában. Vegyészmérnök létemre talán erősebben érzem azt, hogy életem során miképpen fonódott össze mind jobban a műszaki szemlélet az elvi tudományos szemlélettel, mintha csak vegyész, vagy csak mérnök lennék. Élettapasztalatom például az, hogy az üzemi munka sajátos módon mintegy folytatása a kísérletezésnek. Elég sokáig tartott, amíg rádöbentem, hogy milyen mély jelentősége van annak a felismerésnek, amit már ENGELS-nél olvastunk, hogy „az elmélet próbája a gyakorlat”. Ez talán sokkal többet mond, mint ahogy azt annak idején maga ENGELS gondolta.

Valóban megtanultam az üzemi munkát úgy tekinteni, mint a nagy számok törvényének a gyakorlat folyamán való kísérleti megvalósulását. Egy elméleti munkának az eredménye, illetve helyessége ma az én szemléletemben annál mélyebben bizonyított, minél nagyobb számú üzemi munka és annak pozitív eredménye támasztja azt alá. Ezen keresztül tanultam meg mélyen együttérezni az elvi tudományok művelőivel és mélyebben belátni, hogy valóban nincs gyakorlat elmélet és elmélet gyakorlat nélkül.

Ezért kell vegyészmérnök létemre együtt érezni a vegyészekkel és a mérnökökkel. A mérnöki hivatásban — legalábbis az én személyes tapasztalatom és átlésem szerint — van valami nagyon vonzó és sajátos, ami talán kissé távolesőnek tűnik az elvi tudományok művelője számára: az tudniillik, hogy munkáját fizikai megvalósításban látja. Egy épület vagy egy üzem, amelyet megtervezünk és működni látunk, különösen ha sok éven át látjuk működni, olyan mély kielégülést ad az alkotó ember számára, mint az az elvi tudományos eredmény, amely egy új törvényszerűséget, egy új variánst fedezett fel.

Azt kívánom, hogy az Akadémia új korszakában a különböző osztályok együttműködése ebben a szellemben folytatódjék, illetve bontakozzék ki, és ebben a szellemben tolmácsolom még egyszer egy másik Osztály üdvözlétét annak az osztálynak, amelyhez annyi emlék fűz, ahol annyi kiváló embert volt alkalmam megismerni.

SZÉCHY KÁROLY

LEVELEZŐ TAG

Az osztálytitkári beszámoló megemlítette, hogy az ország lehetőségei nem engedik meg minden vonalon önálló kutatás folytatását és így erősen rá vagyunk utalva egyes tudományterületeken a külföldi kutatások eredményeinek felhasználására, értékelésére és hasznosítására. Ebből a szempontból igen célszerű kezdeményezésnek bizonyul a tudományos helyzet-



képek feldolgozása, ami egyes bizottságokon belül igen szépen előrehaladt, és ami kétséggel nélkülözhetetlen, hogy a világszerte megmutatkozó tudományos fejlődés irányai, valamint az ott elért tudományos eredmények rendelkezésre álljanak és hogy ezekből hasznos következtetéseket vonhassunk le. Még inkább aláhúzza ennek a munkának a jelentőségét az előkészítés alatt álló 15 éves tudományos fejlesztési és kutatási terv. Ennek nyilvánvalóan hasznosítania kell ezeket a helyzetképeket, és amelynek rá kell épülnie azokra a tapasztalatokra, amelyeket bizottságaink intézményesen és szisztematikusan feldolgoztak.

Igen szerencsés a kormányhatározatnak az a megállapítása, hogy a *Magyar Tudományos Akadémiának*, valamint az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottságnak* kooperációt kell létesítenie és mintegy kölcsönös felelősséget vállalnia ennek a távlati tudományos kutatási tervnek az elkészítéséért. Az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* ugyanis helyzeténél fogva közelebb áll az iparhoz, a *Magyar Tudományos Akadémia* pedig a tudományhoz, a kettőnek az együttműködése tehát egy olyan szintézisre ad lehetőséget, amely szintézis éppen a tudományos eredmények gyakorlati megvalósítása területén rendkívül jelentős és hasznos eredményeket hozhat.

A távlati tudományos terv kidolgozása és az együttműködés során talán követhető a következő példa esete. Ismeretes, hogy az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* koncepciótervezeteket és koncepciókat dolgozott ki különböző ipari ágazatok részére, amely koncepciók kidolgozása során azonban egyetlen egy esetben sem nélkülözhetette a tudományos fejlődés lekövetését és a tudományos alapelvek megállapítását. Nagyon hasznos lenne és ezért javasolható, hogy az Akadémia tudományos bizottságai szisztematikusan vegyék elemzés és tárgyalás alá ezeket a különböző ipari területek fejlesztéséről megjelent koncepciókat, és a tudományos részt, illetve a tudományos vonatkozásokat alaposan megtárgyalva, az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal* együtt állapítsanak meg olyan elveket, valamint következtetéseket, amelyek a távlati tudományos terv kidolgozása szempontjából igen hasznosak és nagyon gyümölcsözők lehetnek.

Az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* ipari, tehát a tudományos elvek gyakorlati megvalósítása vonalán eddig talán nem járt el teljes következetességgel, bár kétségtelen, hogy az anyagi eszközök szempontjából nagyobb lehetőségekkel rendelkezett, mint az Akadémia. Ha megszületnék egy olyan kooperáció, amelyen belül a koncepciók tudományos részét az Akadémia tudományos bizottságai rendszeresen és intézményesen bírálat alá vennék, illetve kiegészítenék, amivel az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* részére az ipari megvalósítás vonatkozásában egy megfelelően súlyozott és megfelelő tudományos kritikával ellátott alapot adnának, úgy ennek eredményeképpen egyfelől az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* tevékenysége még hasznosabbá válnék, másfelől a munka rendkívül hatékonyan segítené az Akadémiának az iparral való kapcsolatát, tehát a tudományos elveknek a gyakorlatban való megvalósítását.

#### SZIGETI GYÖRGY AKADÉMIKUS

Az Osztály keretében működnek olyan bizottságok, amelyek egyben nemzetközi szervezetek nemzeti bizottságai is. Két ilyen bizottságra kívánom a figyelmet felhívni. Az egyik a *Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság* magyar nemzeti bizottsága, a másik a *Nemzetközi Vákuumtechnikai Unió* magyar nemzeti bizottsága. E két bizottság működéséről az osztály csak nagyon keveset tud, mert alkalomadtán kért írásbeli beszámolók eléggé rövidek, és ezeknek is mindössze egy mondatból álló kivonata szerepel az osztálytitkári beszámoló függelékében.

A *Világítástechnikai Bizottság* annak ellenére, hogy működésének kevés jele figyelhető meg nyilvánosan, hasznos munkát végez mind az ország, mind az ország ipara és az országban folyó kutatás szempontjából. A nemzetközi szervezet különböző feladatokat ad a nemzeti bizottságoknak, így a magyar nemzeti bizottság egyes tagjainak is — többek között — a szín-méréssel, fény-méréssel és az igen kis intenzitású fény-méréssel kapcsolatban. Az eredményeket a munka elvégzése után a tagok közlik a nemzetközi szervezettel, de természetesen a magyar nemzeti bizottsággal is, amely azt a tényt a rövid jelentésben egy címszóval jelenti tovább.

Ugyanígy a *Vákuumtechnikai Unió* magyar nemzeti bizottsága is szervez Magyarországon tanfolyamokat és szemináriumokat, készít egy nemzetközi vákuumtechnikai szaklexikont, illetve szakszótárt. Ez az utóbbi munkát eléggé előrehaladt már és a magyar kiadása rövidesen meg is jelenik. Annak idején erről a Bizottság jelentést fog tenni, mégis helyes volna, ha ezeket a munkákat az Osztály hivatalosan is számonkérné a bizottságoktól, megvitatná és elbírálná a bizottságok működését, illetve az arra alkalmas anyagot közzé is tenné.

Egy másik kérdés a tudományos helyzetképek és felmérések problémája. Ezt a munkát a híradástechnikai tudományok területén a kutatóintézetek, a félévezetőkutatás esetében pedig a *Műszaki Fizikai Kutató Intézet* végzi, és a félévezetőkutatás egyes problémáiról, a fényforráskutatásról, valamint a fejlődési irányairól körülbelül 50 oldalas terjedelemben felmérést készít. Ezt a felmérést egyelőre az *Egyesült Izzólámpa és Villamosági Rt.* kérésére végezte és az eredményt is a gyárnak adta át az Intézet, azonban helyes volna, ha a felmérésekkel nagyobb plénum is foglalkozhatna és beépíthetné ezeket a készítendő prognosztikai javaslatba. A felmérés egyrészt az irodalom, másrészt a saját kutatási eredmények, valamint a felmerült ipari szükségletek alapján történik. Néhány területről sokszorosított formában már rendelkezésre is állnak a helyzetképek és így helyes volna, ha a bizottságok ezeket a témákat letárgyalnák, a bizottságok által megtárgyalt, valamint jóváhagyott, továbbá az esetleges javaslatokkal is kibővített jelentések pedig az Osztály elé is kerülnének azzal, hogy a *Műszaki Tudományok Osztályának* tudományos testülete is megvitathassa azokat. A világítástechnika talán érdekelné az építészeket, a félévezetőkutatás pedig az automatizálás szakembereit, azt azonban nem lehet kívánni, hogy ezeket a problémákat a *Műszaki Tudományok Osztályának* teljes plénuma érdeklődéssel kísérje. Ezért nagyon helyes volna, ha ez a vita a szakcsoportokon belül történne. Ehhez hasonlóan célszerű volna, ha az intézetek munkájának eredményeit és munkatervét a jövőben — ugyanúgy, ahogyan az már a múltban is történt — a szakcsoportok részletesen megtárgyalnák. Ezt tulajdonképpen az intézeti munka tudományos elbírálásának lehetne tekinteni és ez az elbírálás szolgálna egyúttal alapként a szakigazgatási szervek előtt a költségvetési igények elbírálásánál is.

Ezen a területen várunk nagyon sokat az Akadémiától és reméljük, hogy a részletkérdésekben a jelenleginél nagyobb önállóságot kapnak az Intézetek úgy, ahogyan azt az Elnökség beszámolója kifejtette, és amint az régebben több alkalommal már kifejezésre is jutott.

## CSÁKI FRIGYES

LEVELEZŐ TAG

Az Osztály „belpolitikai” kérdéseit illetően egyet kell érteni az osztálytitkári beszámolóval azzal a részével, amely kiemelte, hogy a *Műszaki Tudományok Osztályának* általános sajátosságai mellett számos különleges vonása is van. Így nem dönthető el, lehet-e egyáltalán teljes általánosságban *műszaki tudományról* beszélni, vagy pedig nem volna-e sokkal helyesebb elektrotechnikáról, hőtechnikáról, híradástechnikáról stb. szólnunk. Ebből következik, hogy az osztályülések alkalmával az Osztály a kérdéseknek csak viszonylag szűk körét tudja majd teljes általánosságban megvitatni, és ha tényleg komolyan vesszük a testületi ténykedést, valamint az Akadémiának mint legfelsőbb tudományos fórumnak a szerepét, úgy jóval több olyan kérdés lesz, ami például az elektrotechnikai vagy építészeti vonatkozásban fog jelentkezni.

Ezért anélkül, hogy túlzottan messze mennénk, megállapíthatjuk, hogy annak a szervezési rendszernek, amely a múltban megvolt az Osztályon belül, nevezetesen a szakcsoportok szervezésének, akarva, nem akarva bizonyos mértékig a jövőben is fenn kell maradnia. Ha ez esetleg szoros szervezeti és adminisztratív formában nem is fog megnyilvánulni, mégis sok tudományos kérdésben elengedhetetlen lesz, hogy az akadémikusoknak egy szűkebb csoportja döntsön, vagy vitassa azt meg.

Ha figyelembe vesszük, hogy az Osztály létszáma előreláthatólag 25 körül lesz és ehhez még hozzászámítjuk azt a lehetőséget, amellyel nagyon is élnünk kell — nevezetesen az egyharmadnyi külső szakember meghívásával — akkor kereken 40 fő lesz az Osztálynak az a létszáma, amely az egyes problémákon vitatkozik. Ez pedig már jóval meghaladja a PARKINSON által megadott 20 ÷ 25 főnyi létszámot. Anélkül, hogy ezt mereven ítélnénk meg mégis megállapítható, hogy az operativitás, a vitaszellem mindenestre meglehetősen korlátozott formában fog mutatkozni. Ezért szükségesnek látszik, hogy bizonyos szakcsoportszerű felosztásban továbbra is meg legyen a lehetősége egyes szakkérdések részletesebb megbeszélésének.

A „külpolitikai” vonatkozásokat illetően igen fontos a *Tudománypolitikai irányelveknek* az a kitétele, amely kihangsúlyozza az egyetemek kutatómunkájának fokozottabb figyelemmel kísérését és az Akadémia, valamint az egyetemek között a szorosabb kapcsolat megvalósítását tűzi ki célul. Ennek fényében vizsgáljuk meg az alapszabály VII. fejezete 24. §-ának (3) bekezdését, amelyet az osztálytitkári beszámoló is megemlített. Ebben arról van szó, hogy az Osztály tanácskozási joggal tagjává választhatja az Osztály tudományterületéhez tartozó tudományos bizottságok elnökeit, a kutatóintézetek vezetőit, továbbá a minisztériumok vagy országos hatáskörű szervek képviselőit és más szakembereket is. A „más szakemberek” kifejezés meglehetősen tág kaput nyit, de az előbb elmondottak fényében talán helyes

lenne a fogalmazásban is kidomborítani azt, hogy ide értjük például az egyetemek tudományos rektorhelyetteseit. Ezt szó szerint is ki kell emelni, mert nem biztos, hogy a tudományos rektorhelyettesek belesik az előző kategóriák valamelyikébe, és így előfordulhat, hogy az egyetemokről, különösen pedig a műszaki egyetemokről, vagy esetleg számos magas színvonalú főiskolánkról a tudományos rektorhelyettesek nem kapcsolódhatnak be az Akadémia munkájába. Ezért érdemes megemlíteni és figyelemmel is kísérni ezt a kérdést, különös tekintettel az Akadémia és az egyetemek kapcsolatára.

Nagy fontosságú a szakminisztériumokkal és az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal* való kapcsolat, mert a műszaki tudományok területén még a legelvonatkoztatottabbnak látszó alap kutatás sem független az ipari megvalósítástól. Az említett kapcsolat kérdése mindkét irányban döntő fontosságú egyrészt azért, mert nagy jelentősége van annak, hogy az Akadémián belül a *Műszaki Tudományok Osztálya*, illetve a szakcsoportok vagy szakbizottságok tájékozottak legyenek azokról az időszerű problémákról, amelyek az ipart foglalkoztatják, másrészt pedig azért, hogy az Akadémia befolyást tudjon gyakorolni a szakminisztériumok, vagy esetleg az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* tudományos vonatkozású határozataira. Ilyen körülmények között fontos, hogy az eddigieknél több lehetőség legyen a külső szakemberek bevonására, és ezt minden szinten, a tudományos bizottságok szintjéig is az eddigieknél fokozottabb mértékben szükséges megvalósítani. Ha továbbra is fenntartjuk a szakcsoportok rendszerét, úgy ezen a szinten is kívánatos a külső szakemberek, elsősorban pedig a minisztériumokhoz, valamint az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsághoz* tartozó szakemberek bevonása, mert a kapcsolatoknak mindkét irányban nagyon jelentős fejlődési lehetőségeik vannak.

Végül -- reagálva az osztálytitkári beszámolóban arra a részére, amely azzal foglalkozik, hogy milyen mértékben mutatkozik meg és hogyan valósul meg a műszaki tudományok elismerése -- azt mondhatjuk, hogy minden tudományterületnek megvannak a saját fejlődési törvényei és az egyetlen, amit ebben a vonatkozásban biztosan állíthatunk, az, hogy ezeket a kérdéseket az utókor rendezi el. Így például ma nehezen lehetne vitatkozni azon, ha történetesen MAXWELL vagy EDISON élne, hogy ki a nagyobb tudós. Az idők folyamán azonban kialakult az a vélemény, hogy EDISON tevékenységét éppen úgy elismerik, mint MAXWELL munkásságát, noha EDISON egyetlen könyvet sem írt. Ilyen körülmények között tehát a műszaki tudományok területén dolgozó szakembereknek arra kell törekedni, hogy saját törvényeiket kövessék és bizonyos vonatkozásokban ne versenyezzenek a matematikusokkal, hanem bízzák a döntést az utókorra.

#### EISLER JÁNOS

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az Akadémiának, mint testületnek nagyon fontos feladata a tudományos közvélemény felderítése és alakítása. Az osztálytitkári beszámoló ezzel szemben arról tanúskodik, hogy a *Műszaki Tudományok Osztálya* a maga nagyon szerteágazó területén mindössze nyolc felolvasó ülést tartott és ezek közül is csupán egynek az előadója volt hazai szakember. Pedig a tudományos közvélemény kialakítása és felderítése szempontjából igen nagy jelentősége van egy-egy felolvasó ülésnek. Ezért a jövőben a rendezvények tervezésénél a felolvasó ülések szaporítására kell törekedni.

#### SZÉCHEY BÉLA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A *Műszaki Tudományok Osztálya* az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal* közösen nemrég országos értekezletet tartott az akusztika, és ezen belül az akusztikai kutatás helyzetéről. A munka több negatívumot tárt fel. Időközben a téma gazdára talált az *International Committee of Acoustics* (rövidítve: *ICA*) magyar nemzeti bizottságában. Ugyancsak nemrég került elfogadásra az akusztika egyik legfiatalabb ágazatával, a zajelhárítással kapcsolatos OMFB-koncepció. Az ebben kijelölt feladatok megvalósítására és tudományos gondozására célszerű volna, ha a *Híradástechnikai Akadémiai Bizottság* keretében alkalmazott vagy műszaki akusztikai munkabizottság alakulna. A zajelhárítás ugyanis olyan mélyen, struktúrájában érinti az egyes ágazatokat, így többek között az építészetet, sőt a ma ijesztő mértékben szaporodó közlekedési balesetek kérdését is, hogy feltétlenül szükség volna a megfelelő tudományos háttér megteremtésére.

## VERŐ JÓZSEF

AKADÉMIKUS

Mint a nyilvános osztályülés elnöke köszönetet mond KORACH Mór akadémikusnak a *Kémiai Tudományok Osztálya* részéről tolmácsolt üdvözlétéért, amelyet a *Műszaki Tudományok Osztálya* részéről is viszonzoz. A két osztály tevékenysége a legszorosabban kapcsolódik egymáshoz. Ugyanis tudományterületileg a vegyipar a *Kémiai Tudományok Osztályának* gondozására van bízva, az összes többi iparág pedig a *Műszaki Tudományok Osztályához* tartozik, az utóbbiak között azonban igen sok olyan van, amelynek műveléséhez kémia szükséges. Ezért a *Műszaki Tudományok Osztálya* részéről nagyfokú együttműködési szándék nyilvánul meg a kémiai tudományterület irányában.

VÁLASZ  
AZ ELHANGZOTT HOZZÁSZÓLÁSOKRA

BOGNÁR GÉZA

AKADÉMIKUS

Annál szebb és annál mélyebb érzéssel nem lehet megfogalmazni a tudomány és a gyakorlat kapcsolatát, mint ahogy azt KORACH akadémikus tette. A hozzászólások az új alapszabályok tükrében foglalkoztak az Osztály jövődő „bel- és külpolitikájának” kialakításával, valamint a különböző — nemzetközi és hazai — szervekkel való kapcsolatának kérdésével. A felszólalások igen hasznosak lesznek az Osztály további tevékenységének kialakítása szempontjából. A felszólalókat az indította felszólalásukra, hogy alapjaiban egyetértenek az Akadémia átszervezésével, az Akadémia alapszabályaiban foglaltakkal és az azokból adódó feladatokkal. Arra kérem az Osztály tagjait és az Osztály keretében működő testületi szerveket, hogy ezeknek a feladatoknak sikeres elvégzésével nyújtsanak hatékony segítséget az Osztály további munkájához.

# DR. MENYHÁRD ISTVÁN ÉLETE ÉS MUNKÁSSÁGA

BÖLCSKEI ELEMÉR\*

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

Beérkezett: 1969. október 13.

E sorok a közelmúltban elhunyt Dr. MENYHÁRD István sokoldalú egyéniségének, szerteágazó gyakorlati és elméleti mérnöki munkásságának kívánnak méltó emléket állítani.

## *Életének állomásai*

MENYHÁRD István 1902-ben született a Sopron megyei Vulkapordányban. Középiskoláit Sopronban, mérnöki tanulmányait a budapesti József Nádor Műszaki Egyetemen végezte, s itt szerzett mérnöki oklevelet 1925-ben. Előbb egy kivitelező vállalatnál, majd 1929—1931-ig Enyedi Béla tervezőirodájában dolgozott. Munkásságát az óbudai Duna-híd tervezésével folytatta. 1933-tól 1937-ig tanársegéd volt a Mechanika Tanszéken. Már ekkor megkezdte önálló tervező mérnöki működését, mely később hivatása lett. A háború előtt számos vasbeton hidat, ipari épületet, héjszerkezetet tervezett. Önálló mérnöki tevékenységét 1949-ig folytatta, amikor is az Állami Mélyépítési Tervező Intézetbe lépett be. Ezután az Építéstudományi Intézetben működött. Itt elsősorban a teherviselő szerkezetek méretezésére vonatkozó szabályzatok elkészítésével foglalkozott. 1958-tól ismét aktív tervezői munkát végzett, előbb az Ipari és Mezőgazdasági Tervező Vállalatnál, majd 1962 után a Budapesti Városépítési Tervező Irodánál, mint a vállalat főstatikusa. 1967-ben nyugdíjazták, de továbbra is az IPARTERV szakértő tanácsadója maradt.

Élete folyamán mindig érdeklődést mutatott a műszaki tudományok iránt, amit számos úttörő jellegű cikke és két értékes könyve is bizonyít. Nagy kedvvel és lendülettel vett részt az oktatásban, majd az utóbbi évtizedben a mérnökök továbbképzésében. E működését az egyetem korábban magántanári, utóbb pedig címzetes egyetemi tanári címmel jutalmazta.

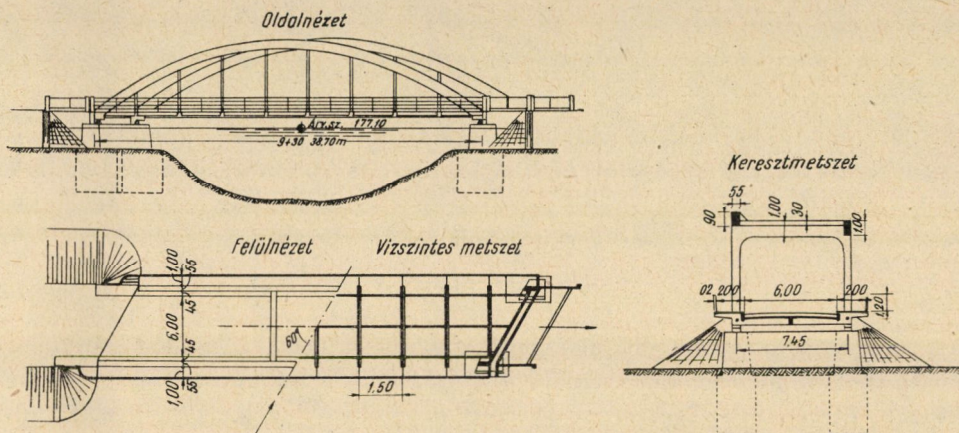
Ez év nyarán Erdélyben érte a később tragikus következményekkel járó agyvérzés, mellyel hazahozták, de életét már nem lehetett megmenteni.

\* Budapesti Műszaki Egyetem, Vasbetonszerkezetek Tanszék, Stoczek u. 2., Budapest XI.



### Vonóvasas ívhidak

A hazai kedvezőtlen talajviszonyokra való tekintettel a közepes vízfolyások 30 m fesztávolság feletti áthidalása gazdaságosan csak vonóvasas ívszerkezettel oldható meg. Ezt a tényt Menyhárd István ismerte fel elsőnek, és fejlesztette ki a vonóvasas ívhidak típusát, s ennek gazdaságos kivitelezését. Megoldásának lényege, hogy a szerkezetet mint háromcsuklós ívet építi meg, majd a szerkezet, kiállványozása után előterhelést hord fel, biztosítva azt,



1. ábra. A vasvári vonóvasas ívhíd

hogy a pálya a vég-kereszttartó felett szabadon elmozdulhasson. A csuklók és pálya kihagyott hézagainak kibetonozása és megkötése után kerül sor az előterhelés lehordására.

Az első, ily módon tervezett szerkezet a vasvári vasbeton ívhíd (1. ábra). Ezt számos hasonló szerkezet követte. A vonóvasas ívhidak az évek során általánosan ismert, kiterjedten használt szerkezetté váltak.

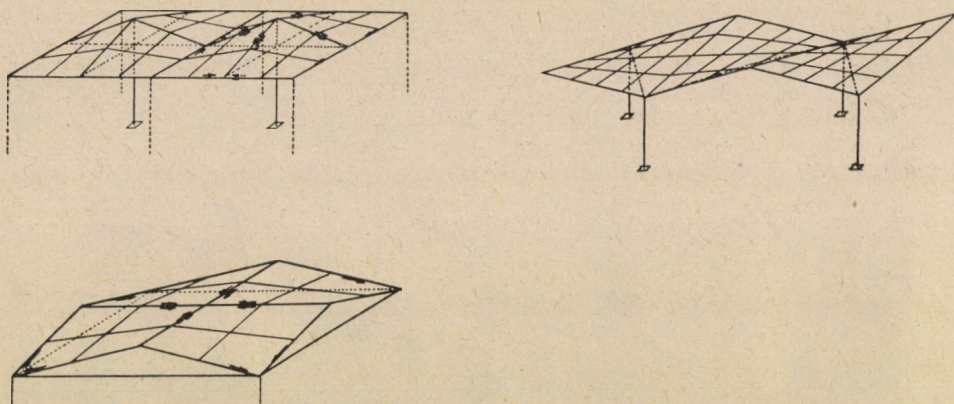
### Az első héjszerkezetek

A francia irodalom alapján már a harmincas években foglalkozott Menyhárd István a membránhéj-szerkezetek elméletével, s volt bátorsága ahhoz, hogy hazánkban az akkor még teljesen ismeretlen, új tartótípust a gyakorlatban is alkalmazza. Így került sor az első, *hiperbolikus paraboloid* héjból összeállított, különböző tetőtípusok építésére (2. ábra). E vékony, felületi tartószerkezet került alkalmazásra a csepeli kikötő és a Kőbányai Polgári Serfőző Rt. raktárépületeinél. A megépített szerkezet igen gazdaságosnak bizonyult, hiszen kevés beton, kevés acél és egyszerű zsaluzat segítségével volt kivitelezhető.



A negyvenes évek elején az autóbusz-közlekedés erőteljes fejlődésével szükségessé vált egy nagyobb kocsiszín építése. A szerkezeti tervek készítésével Dr. MENYHÁRD Istvánt bízta meg, aki e nagy feladatot lendületesen, szellemesen és korszerűen oldotta meg. A tulajdonképpeni épület két részből áll, a  $100 \times 72$  m<sup>2</sup> alapterületű kocsiszínból és a  $60 \times 26$  m<sup>2</sup> alapterületű műhelycsarnokból.

A kocsiszín szerkezetileg közel 82 m fesztávolságú, egymástól 12,5 m távolságra levő vonóvasas ívekből áll, melyek közeit — hazánkban első ízben alkalmazott — *elliptikus paraboloid* héjak hidalják át. A nagyméretű héjszer-



2. ábra. Hiperbolikus paraboloid héjakból összeállított szerkezetek

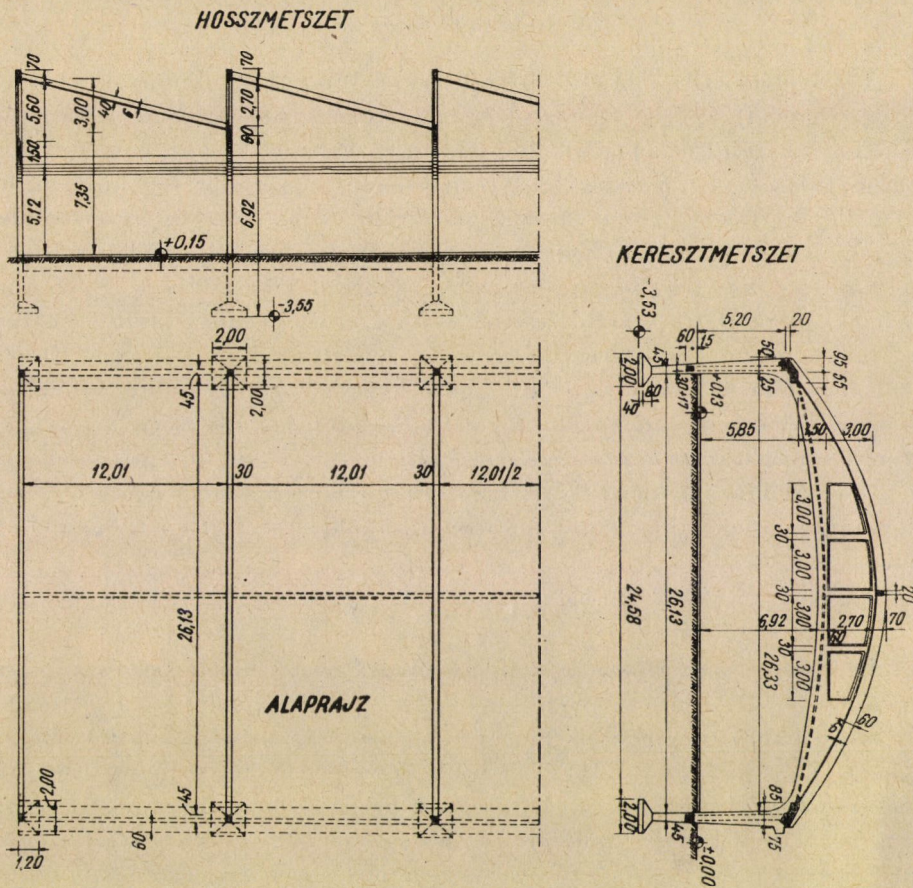
kezet vastagsága mindössze 6 cm (3. ábra). Ennek számítása ebben az időben csak közelítő módszerekkel volt lehetséges. E fáradságos munkát igénylő — akkor még természetesen számítógépek nélkül végrehajtott — számítás azt mutatta, hogy a héjban gyakorlatilag mindenütt nyomóigénybevétel ébred, s egyedül a sarkoknál van egy-egy olyan szinguláris pont, amelynek környezetében a feszültségek a megengedett határt túllépik. Az ívek vízszintes stabilitását az eredeti elképzelés szerint a síkba ki nem fejthető héjszerkezet biztosította volna. Később a tervező ezt merevítő tartók beépítésével módosította. Erre az adott okot, hogy az első négy ívből álló szerkezeti egység kiállványozásakor — elsősorban a kivitelezés pontatlanságából származó hiba következtében — az ideiglenes középessuklónál levő acélbetétek kihajlottak, s így az ív néhány cm-t süllyedt. Bár komolyabb szerkezeti és gazdasági következménye ennek nem volt, mégis indokoltnak látszott a nagyobb óvatosság.

A Budapesti Székesfővárosi Közlekedési Rt. kelenföldi autóbuszgarázsának műhelycsarnoka ugyancsak korszerű héjszerkezetű lefedéssel készült. E héjak középfelülete hazánkban első ízben alkalmazott *parabolikus vezérgör-*









4. ábra. A BSZKRT autóbuszgarázs-műhelycsarnok általános terve

### A hidak újjáépítése

A felszabadulás után — mint önálló mérnök — azonnal bekapcsolódott az újjáépítés munkájába. A KPM Közúti Hídosztályának megbízása alapján számos híd helyreállításának tervezésében vett részt. Ezek között különösen érdekes gondolat volt a Margit-híd vasbeton ívszerkezetekkel való újjáépítése. Vonatkozó tervei azért nem valósultak meg, mert a pesti nyílás első mederpillére az 1944 novemberében bekövetkezett robbanás alkalmával olyan mértékben megsérült, hogy az acél- és a vasbetonszerkezet közötti súlykülönbség viselésére már nem volt alkalmas. Végül is acél ívszerkezetek kerültek kivitelre, amelyek felett vasbeton pályaszerkezet épült. Ennek terveit Dr. MENYHÁRD István és e sorok szerzője készítették.

### Szabványalkotás

1949-től az Állami Mélyépítési Tervező Intézetben néhány kisebb híd tervezése mellett fő feladata az ideiglenes Közúti Hídszabályzat elkészítése volt. Ebben került első ízben alkalmazásra a vasbeton szerkezetek ún. *n-mentes számítási eljárása*. Dr. MENYHÁRD István érdeme, hogy e merőben új számítási módot bevezette, s alkalmazásának feltételeit szabatosan és egyértelműen meghatározta. Munkáját az Építéstudományi Intézetben folytatta az épületek teherhordó szerkezeteire vonatkozó szabványsorozat elkészítésével. Széles körű elméleti és gyakorlati felkészültségének és határozott állásfoglalásának köszönhető, hogy néhány év alatt elkészült az említett szabványsorozat. Ebben, általános előírások mellett, a különböző anyagú szerkezetekre vonatkozó méretezési előírások találhatók. E szabványsorozat alapvetően új elvekre, nevezetesen az *osztott biztonság elvére* épül, melyet ilyen átfogó módon első ízben hazánkban alkalmaztak. E korszerű méretezési mód azóta az építéstudományban nemcsak hazánkban, hanem külföldön is elterjedt, s használata általánossá vált.

### Képlékenységtani kutatások

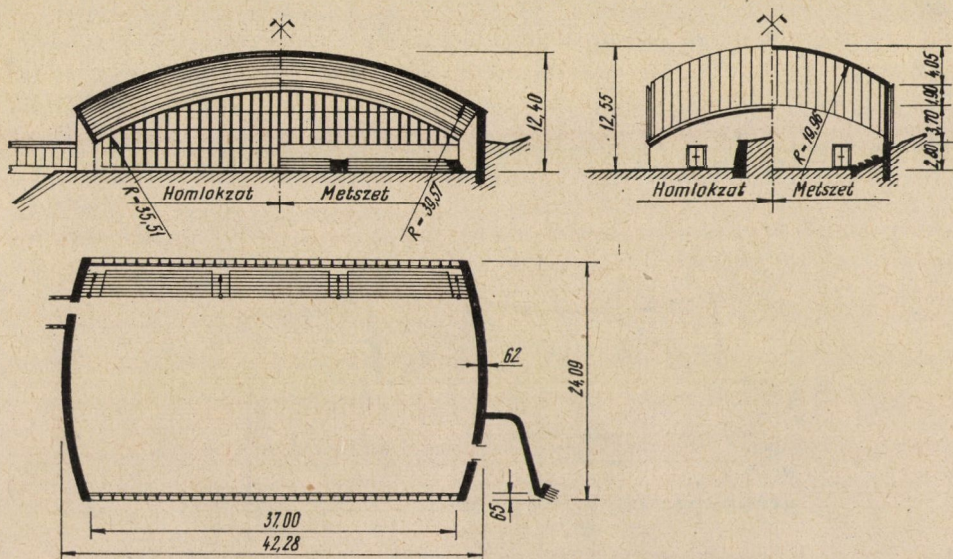
Dr. MENYHÁRD István a szabványalkotás nagy horderejű és az egész magyar építőipart érintő tevékenysége mellett a törési elmélet területén is igen értékes és úttörő tudományos kutatást végzett. Egyszerű számítási eljárást dolgozott ki a plasztikus alakváltozások figyelembevételével a *többtámaszú vasbeton tartók* méretezésére. Foglalkozott a két irányban teherviselő *vasbeton-lemesznek* a képlékenységtan elvei szerint való méretezésével, vizsgálta, ferde vonal mentén való törés esetében a vasbeton *gerendák nyírási vasalásának* számítását, és megoldotta a *hengeres vasbeton tartályok* törésméleten alapuló statikai vizsgálatának problémáját is. A törési elmélet terén elért eredményei — KAZINCZY Gábor úttörő munkássága után — a hazai kutatók legnagyobbjai sorába állítják.

### Korszerű csarnokok

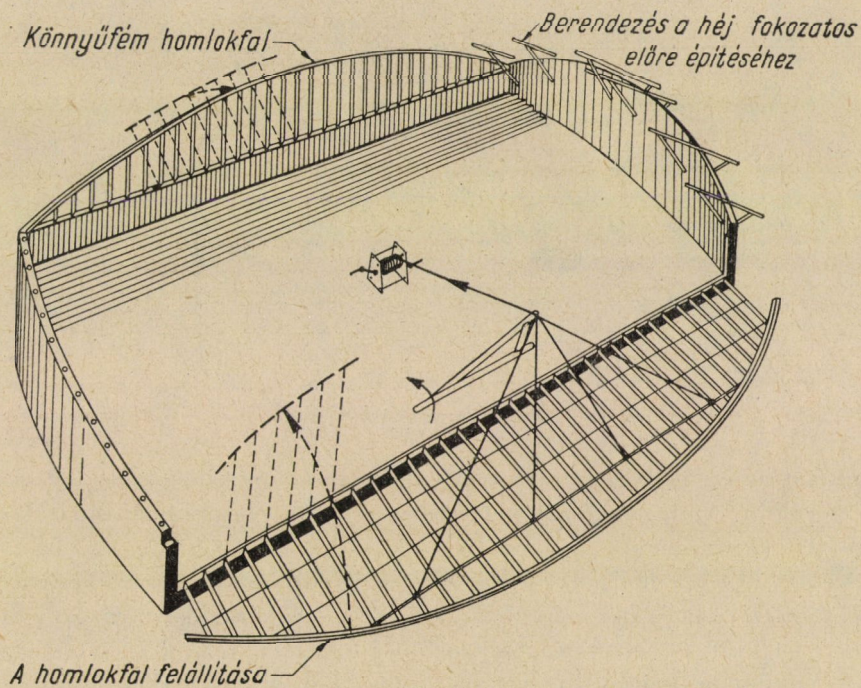
1958-ban az IPARTERVben ismét aktív tervezői munkássághoz kezdett. Az ott töltött néhány év újból kiemelkedő eredményekhez vezetett.

Alkotásai közül elsőként említhető a Budapesti Vasas Sportklub teniszcarnoka, mely az első *könnyűfémszerkezetű héj*. A  $24 \times 42$  m<sup>2</sup> alapterület felett gyűrűfelület alakú ortotróp, oldalnyomás mentes, könnyűfémhéj készült (5. ábra). A héjat 2 mm vastag ötvöztött alumínium lemezből állították elő, amelynek keresztirányú merevségét hullámosítás, hosszirányú merevségét aszimmetrikus, I profilú könnyűfém-tartók biztosítják. A szerkezet szegecselt, bár az anyagául választott ötvözet hegeszthető, de végül a hegesztések nagy száma miatt az előbbi megoldás mellett döntöttek.





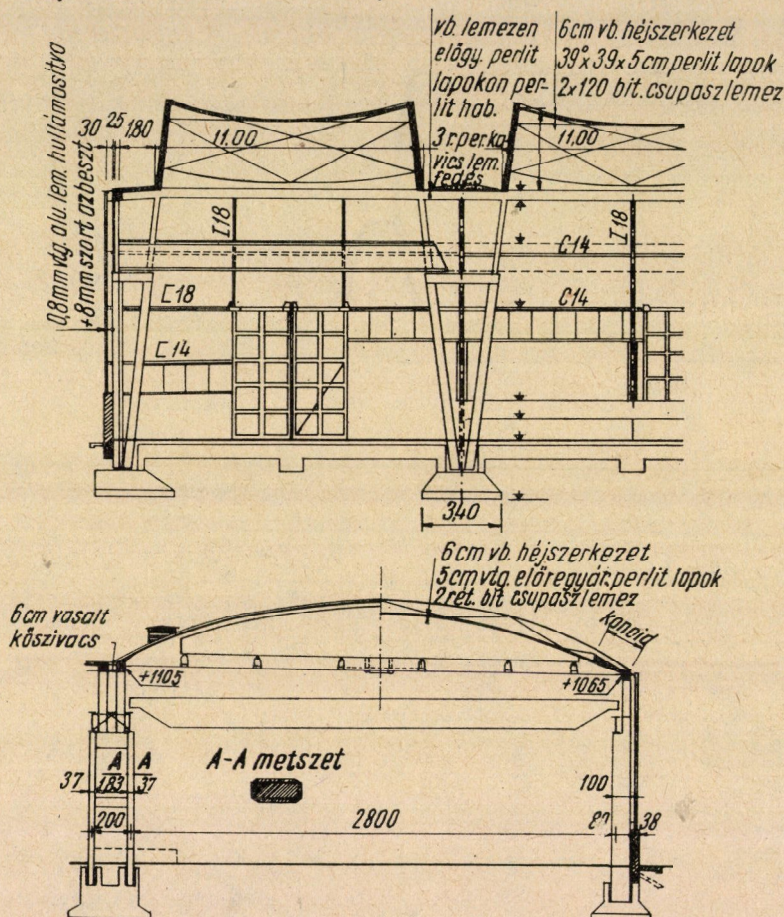
5. ábra. A BVSC teniszcsarnok általános terve



6. ábra. A BVSC teniszcsarnok építése



Az  $1,35 \times 3,50 \text{ m}^2$  méretű lemezből présgép segítségével rendkívül egyszerűen és gyorsan voltak gyárthatók a gyűrűfelülethez szükséges elemek. A csarnok építése technológiailag új, szellemes megoldással történt. A gyárban szállítható darabokban elkészített elemeket a helyszínen kapcsolták össze. A fekvő helyzetben összeszerelt könnyűfém oldalfalakat felállították, majd a

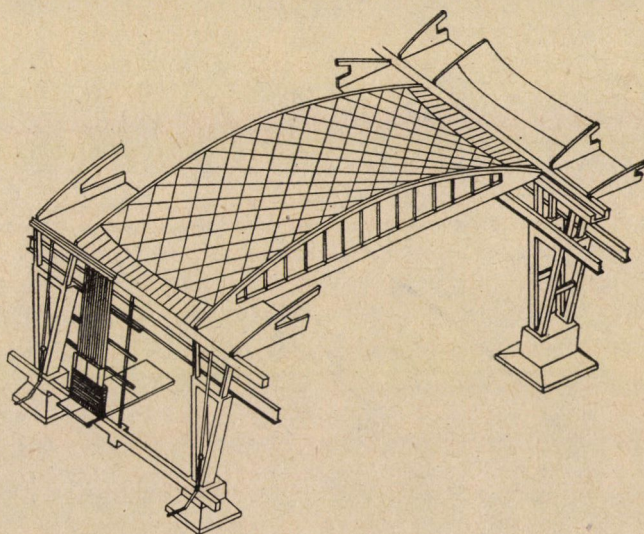


7. ábra. A Székesfehérvári Alumíniummű csarnokának hossz- és keresztmetszete

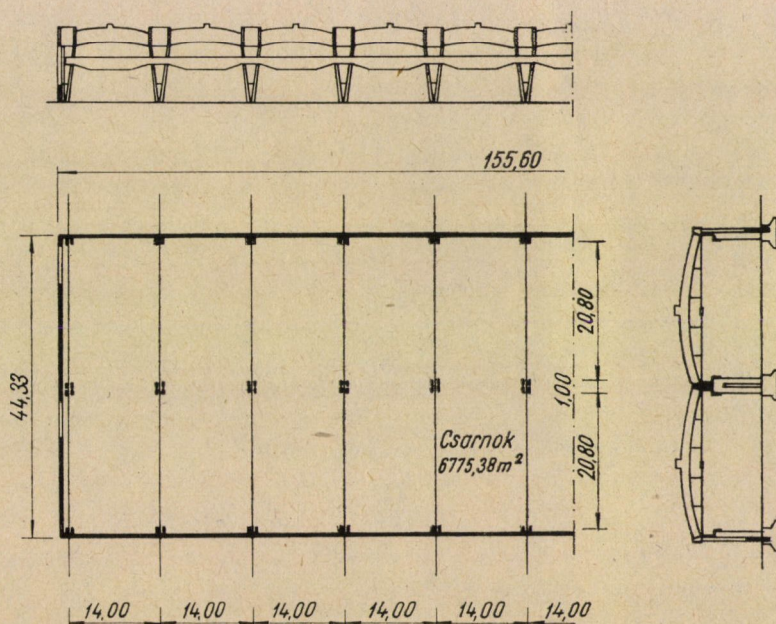
gyűrűhéjat az egyik íves falra szerelt segédpályán cikkelyenként illesztették össze (6. ábra). Az így elkészült felületet az oldalfal vezető ívein húzták előre kéziörlők segítségével.

Az IPARTERV-beli működésének másik jelentős alkotása a Székesfehérvári Alumínium Öntöde és Présmű csarnoka (7. ábra). A kéthajós, daruzott csarnok mintegy  $60 \times 120 \text{ m}^2$  alapterületű, közbülső felülvilágítókkal készített, hiperbolikus paraboloid héjakkal fedett szerkezet. Építése igen szellemes megoldással az előre elkészített darupályára szerelt, mozgatható állványzat segítségével





8. ábra. A Székesfehérvári Alumíniummű csarnokának egy héj-eleme

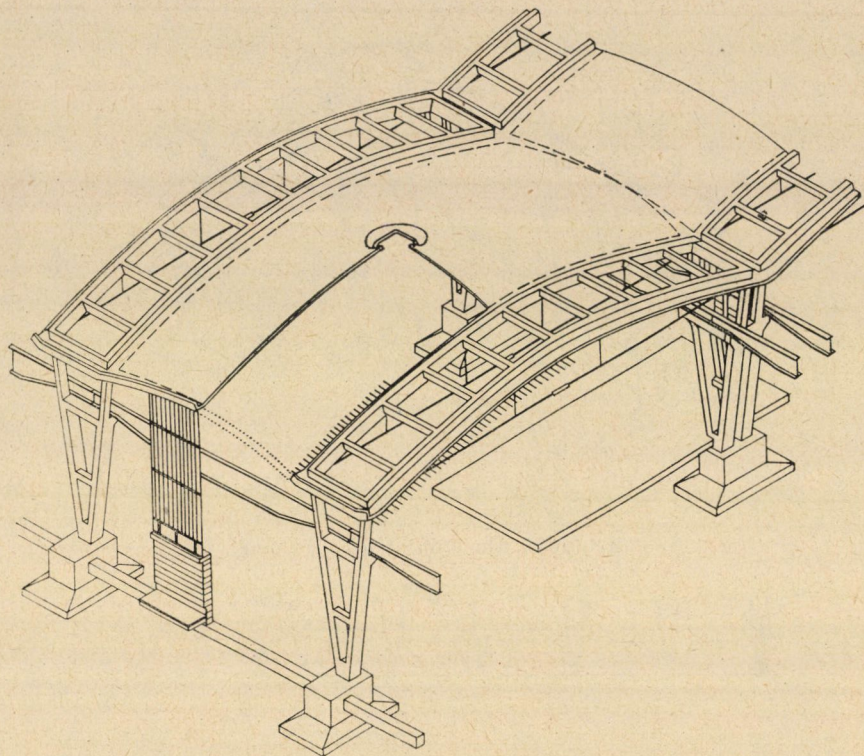


9. ábra. A Csepeli Csőgyár csarnokának általános elrendezése

történt. (A csarnok egy héjelemének perspektivikus rajzát a 8. ábra mutatja be.)

Ugyanezen időszakra esik a Csepeli Csőgyár terveinek elkészítése is. A kéthajós csarnokszerkezet bizonyos vonatkozásban hasonló a székesfehérvárihoz, azonban itt a lefedés elliptikus paraboloidokkal történt, s ezek között egy-egy vízszintes felülvilágítósor helyezkedik el (9—10. ábra).





10. ábra. A Csepeli Csőgyár csarnokának egy héj-eleme

### *Életműve*

Dr. MENYHÁRD István elméleti és gyakorlati tervezői tevékenységét a kiemelkedő alkotások kapcsán csak vázlatosan foglalhattuk össze. Élete és munkássága eredményekben és alkotásokban rendkívül gazdag. Elévülhetetlen érdemei vannak a hídépítésben, a héjszerkezetek elméletének hazai meghonosításában, továbbfejlesztésében, bátorságát, alkotókészségét e területeken számos maradandó mű igazolja. A szabályzatok megalkotásával, s azok bevezetésével igen értékes munkásságot fejtett ki a teherviselő szerkezetek számításának korszerűsítése területén. Úttörő volt a képlékenységtan egyes problémáinak megoldásában is, s a hazai előírások korszerűsítése során bátran alkalmazta ezt a teóriát. Alkotásai, tudományos eredményei, emberi magatartása méltán emelik a nagy magyar mérnökök sorába.

## Irodalmi munkássága

1. A vasvári vonórudas vasbeton-ívhidak. *Technika*, 19 (1938), 130—132.
2. Újjáépített jászberényi Zagyva-híd. *Technika*, 20 (1939), 222—223.
3. Hiperbolikus paraboloid felületek alkalmazása vasbeton héjszerkezetekben. *Technika* 21 (1940), 57—60.
4. A B.Sz.K.R.T. kelenföldi autóbusz kocsiszínjének héjszerkezetei. Doktori értekezés. Budapest, 1942. Élet és Irodalmi Nyomda Rt. 11 o.
5. Héjszerkezetek elmélete I. és II. rész. Mérnöktovábbképző Intézet kiadványai, I. rész 1942. 32 o., II. rész 1943. 40 o.
6. Egymással merevített ív és gerenda. *Magyar Technika*, 1 (1946).
7. Algoritmus többtámaszú tartók számítására. *Magyar Technika*, 2 (1947), 53—55.
8. A könnyűfémek alkalmazása mérnöki szerkezetekben. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 4 (1949), 106—109.
9. A Vierendeel-tartók stabilitásáról. *Magyar Közlekedés. Mély- és Vízépítés*, 1 (1949), 387—391.
10. A lépcsősen változó keresztmetszetű nyomott rudak méretezéséről. *Magyar Közlekedés, Mély- és Vízépítés*, 1 (1949), 449—454.
11. Az előfeszítés szerepének fejlődése és rendszeres alkalmazásának következményei szerkezetinkben. *Magyar Közlekedés, Mély- és Vízépítés*, 1 (1949), 519.
12. Vasbetonszerkezetek „n” mentes számítási módjáról. *ÁMTI Közlemények*, (1949), 2. szám, 6—9.
13. A könnyűfémek alkalmazása mérnöki szerkezetekben. *ÁMTI Közlemények*, (1949) 2. szám, 9—13.
14. Beszámoló az előfeszített vasbeton szerkezetekről tartott előadássorozat záróelőadásáról. *ÁMTI Közlemények*, (1949), 3. szám, 14.
15. A mérnöki szerkezet méretezéséről az új közúti hídszabályzat tervezettel kapcsolatban. *ÁMTI Közlemények*, (1949), 5. szám, 2—6.
16. A koncentrált erővel terhelt vasbeton lemez méretezéséről. *ÁMTI Közlemények*, (1949), 6. szám, 1—14.
17. A tartószerkezetek méretezési elveiről az új közúti hídszabályzattal kapcsolatban. *Magyar Közlekedés, Mély- és Vízépítés*, 2 (1950), 12—14.
18. A mérnöki könnyűfém tartószerkezetek tervezéséről. *Magyar Közlekedés, Mély- és Vízépítés*, 2 (1950), 20—25.
19. Egyszerű számító módszer többtámaszú vasbeton tartók méretezésére a plasztikus alakváltozások figyelembevételével. *Építéstudományi Közlemények*, (1950), 1—2 szám, 8—10.
20. Nyomott rudak méretezése előírt kezdeti excentricitás alapján, új acélszabályzati előírásaink szerint. *Építéstudományi Közlemények*, (1950), 1—2 szám, 1—18.
21. Mérnöki könnyűfém szerkezetek tervezése (A Burovsky István által szerkesztett, az Alumíniumipari és Kereskedelmi Propaganda Bizottság által Budapesten, 1950-ben kiadott „Alumínium” című könyv 313—323. oldalain).
22. Die Bemessung von gedrückten Stäben auf Grund einer vorgeschriebenen Anfangsexzentrizität. *Acta Tech. Hung.*, 41 (1951), 431—448.
23. Vasbetonszerkezetek új méretezési módja. A biztonsági tényezőkön és a törési elméleten alapuló számítási módszer. Budapest. Építőipari Kiadó, 1951. 104 o. (Társszerző: Gábor Pál és Rózsa Mihály).
24. A vasbetonszerkezetek törési elméletén alapuló „n” mentes számítási mód ismertetése néhány gyakorlati példával. A Dunapentélen megtartott mérnök továbbképző előadás anyaga. Budapest, Ép. Ip. K., 1951. 33. o.
25. Két irányban teherbíró vasbeton lemezek méretezése a képlékenységtan elvei szerint. *MTA VI. Oszt. Köz.*, 6 (1952), 315—323.
26. A méretezés elvi alapjai. „A feszített betonszerkezetek” c. könyv I. kötet fejezete. Közlekedési Kiadó, Budapest 1953, 195—210 o.
27. Két irányban teherbíró vasbeton lemezek méretezése a képlékenységtan elvei szerint. Budapest, Felsőoktatási Jegyzetellátó, 1953. 28. o. (A Mérnök Továbbképző Intézet előadássorozatából) 1954, 77 o.
28. Statikus tervezők kézikönyve. (Szerk. Menyhárd I. irányításával; közreműködtek Barta József, Gábor Pál stb.) Készült az ETI-ben, kiadta az ÉM Műszaki Főosztály, Budapest 1952, 1954. Építőipari Könyv-Lapkiadó, 223 o.
29. Épületek teherhordó szerkezeteinek méretezésére vonatkozó új magyar előírások fontosabb rendelkezéseinek magyarázata. Építéstudományi Intézet. Tudományos Közlemények 1. sz. Építésügyi Kiadó, Budapest, 1954. 32. o.

30. Vasbetonlemezek méretezése a képlékenységtan elvei szerint. Budapest, Mérnöki Tovább-  
lépző Intézet, 1954. 77. o.
31. Über die Theorie des Schrägbruchs des auf Schub und Biegung beanspruchten Stahlbeton-  
balkens. Vortrag am Bauwissenschaftlichen Kongress der Polnischen Akademie der  
Wissenschaften, Krynica, 1955.
32. Reflexiók ipari és mezőgazdasági épületek üzemi előregyártásának kérdéséhez. *Magyar  
Építőipar*, 4 (1955), 406—407.
33. Szegélybordás lemezhidak közelítő számítása. Menyhárd I. tanulmánya alapján össze-  
állította Bölcskei—Kékedi—Szalai J. Budapest, 1955., UVATERV Műszaki Fejlesztési  
Osztály.
34. Feszített betonszerkezetek fejlődése az Egyesült Államokban *Magyar Építőipar*, 5 (1956),  
11—12.
35. Die statische Berechnung von zylindrischen Stahlbetonbehältern auf Grund der Bruch-  
theorie. *J. V. B. H. Vorbericht des V. Kongr. Lissabon*, 1956, 451—458.
36. Reflexiók Miklós Jenő: „Kritikai visszatekintés a biztonsági tényező méretezési módszer  
7 éves alkalmazása után” című cikkéhez. *Magyar Építőipar*, 7 (1958), 152—153.
37. Über die Berechnung von Bogenträgern aus idealplastischem Material. Budapest, Acta  
Techn. Hung. 26 (1959), 153—160.
38. Vasbetongerendák nyírási vasalásának számítása a ferde törés elmélete alapján. *Magyar  
Építőipar*, 8 (1959), 265—269.
39. Bevezetés a héjszerkezetek statikájába. Budapest 1959. Iparterv Műszaki Osztálya 124 o.  
(Társszerzők: Horváth Csongor és Ivits Iván).
40. Eljárások és táblázatok héjszerkezetek méretezésére. Budapest 1959., 44 lap, ÉTI (Társ-  
szerző: Szmodits Kázmér).
41. Székesfehérvári új alumíniumöntöde és présmű. *Ipari Építészeti Szemle*, 18 (1960), 1—10.  
(Társszerző: Farkas Ipoly).
42. Feszített pálcás vasbetonszerkezetek. *Magyar Építőipar*, 9 (1960), 577—580.
43. Túlhaladt-e a monolitikus építési mód? *Magyar Építőipar*, 9 (1960), 73—76.
44. Vasbetonszerkezetek elmélete, méretezése és szerkezeti kialakítása. Műszaki Könyvkiadó,  
Budapest 1960, 608 o. (Társszerző: Gyengő Tibor).
45. Útmutató teherhordó nagypaneles rendszerű épületek statikai számításához. ÉTI Tudo-  
mányos Közlemények, Budapest 1960, 76 lap.
46. Der Membranspannungszustand der elliptischen Paraboloidschalen. *Bauplanung-Bautech-  
nik*, 16 (1962), 29—34. (Társszerző: Szmodits Kázmér).
47. A Csepeli Csőgyár hegesztőcsarnoka. *Magyar Építőipar*, 9 (1962), 156—159. (Társszerző:  
Semsey Lajos.)
48. Héjszerkezetek statikája. Tankönyvkiadó 1963. 232 o. (Társszerző: Brajannisz Teodorosz.)
49. Lakóházaink teherhordó szerkezeteinek gazdaságosságáról. BUVÁTI kiadás, Budapest  
1963, 27. o.
50. Hozzászólás dr. Palotás László „Vasbetonszerkezetek nyírásvizsgálatáról” c. előadásához  
a Műszaki Egyetem 1965. szept. Tudományos Ülésszakán. *Az Építőipari és Közlekedési  
Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei*, 2 (1966), 129—131.
51. Héjszerkezetek számítása és szerkesztése. Műszaki Könyvkiadó. Budapest 1966, 407 o.
52. Új méretezési előírásaink alapelvei a nemzetközi ajánlások tükrében. *Magyar Építőipar*.  
8 (1969), 67—72.



# RÉTEGNYOMÁSOS ARTÉZI KUTAKRA TELEPÍTETT VÍZMŰVEK HIDROLÓGIAI MÉRLETEZÉSE

LÉCZFALVY SÁNDOR\*

Beérkezett: 1969. január 24.

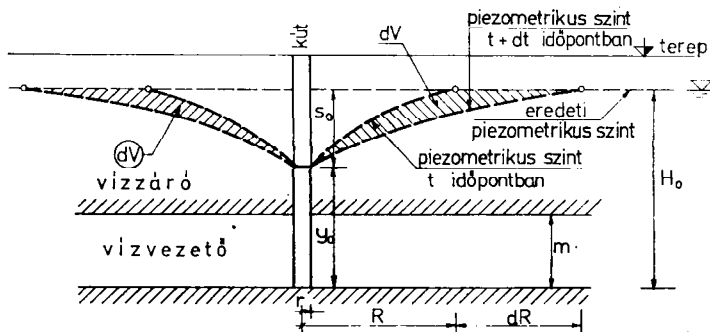
A tanulmány a rétegnyomás elve alapján működő artézi kút és kútsorozat méretezésével foglalkozik. *Először* különálló egyedi artézi kút számítási képleteit vezeti le nem permanens vízmozgás esetében. Ezen belül *első lépésként* azt tárgyalja, amikor a depresszió hatósugara nem érte még el a vízáadó réteg, a tápterület határát. Erre az esetre két számítási képletet vezet le. Az *első képlet* a depresszió hatósugarának a szivattyúzási idő függvényében történő változását mutatja konstans depresszió esetére. A második képlet a leszívás, azaz a kútvízszint időbeni alakulását adja, de konstans vízhozam esetében. A tápterület határának elérése idejére szintén képletet ad. A tanulmány második része végtelen kiterjedésű vízáadó réteg esetén több artézi kút együttes működésénél az egyes kutakon előálló depresszió időbeni változásának számítására dolgoz ki képleteket, ha az egyes kutakon konstans vízkivétel történik, végül konstans depresszió esetén számolja a vízhozam sorokat.

## I. Egy artézi kút működésének vizsgálata

### 1. Végtelen kiterjedésű vízvezető rétegbe telepített artézi kút hozama konstans depresszió esetében

Legyen az 1. ábra jelöléseivel jellemzett nyomás alatt álló artézi vízáadó rétegünk, ahol az  $m$  vastagságú vízáadó réteg szivárgási tényezője  $k$ .

Tartsunk az  $r$  sugarú kútban  $s = H_0 - y_0$  állandó depressziót. Keressük ilyen körülmények között a vízhozam ( $Q$ ) és a hatósugár ( $R$ ) időbeni változását.



1. ábra.

\* Vízügyi Tervező Iroda, Münnich Ferenc u. 36., Budapest V.

A szivattyúzás kezdetétől számított  $t$  időpontban a hatósugár nagysága  $R$ ,  $dt$  idő eltelte után ez az érték  $dR$ -rel nő. Ha a vízhozam  $t$  időpontban  $Q$ , írhatjuk, hogy a kitermelt vízmennyiség  $dt$  idő alatt  $Qdt$ . Ez a vízmennyiség valamilyen módon *arányos* azzal a térfogattal,  $dV$ -vel, ahol a piezometrikus szint csökkenése  $dt$  idő alatt előállott. Írhatjuk tehát, hogy

$$Q \cdot dt = \alpha \cdot dV, \quad (1)$$

ahol az  $\alpha$  arányossági tényező tulajdonképpen azt jelenti, hogy a  $dt$  idő alatt előállott piezometrikus szintcsökkenés által érintett térfogatnak hányszorosa az ugyanannyi idő, tehát  $dt$  idő alatt kitermelt víz. Az egyenletek egyszerűsége és megoldhatósága érdekében tegyük fel első közelítésben, hogy ez az  $\alpha$  érték állandó.

Az 1. ábra jelölései alapján

$$dV = \mu 2R\pi \cdot dR(H_0 - y_0). \quad (2)$$

A 2. egyenletben  $dV$  értékét tehát úgy kaptuk meg, hogy a „térfogatnövekmény” területét kiszámítottuk egyszerűsített feltételekkel a másodrendű kicsinyek elhanyagolásával. Ennek kifejtett alapterületét  $2R \cdot \pi \cdot dR$ -t szoroztuk a magasságával  $(H_0 - y_0)$ -nal, a depresszióval. Tekintettel arra, hogy a „térfogatnövekmény”-t nem egyenes vonalak határolják, az így kiszámított köbtartalmat megszoroztuk egy helyesbítő alaki tényezővel  $\mu$ -vel, amit első közelítésben szintén állandónak vettünk.

Jelöljük a továbbiakban a  $\mu\alpha$  szorzatot  $\beta$ -val, azaz legyen

$$\mu\alpha = \beta.$$

Ezt a  $\beta$  tényezőt tekintsük egyelőre ismertnek és első közelítésként állandónak. A  $\beta$  tényező meghatározását a későbbiekben látni fogjuk. Itt csak azt bocsátjuk előre, hogy kísérletek alapján, mégpedig próbaszivattyúzások alapján fogjuk értékét megkapni.

A fentiekből következik, hogy

$$Q \cdot dt = \beta 2R \cdot \pi \cdot dR (H_0 - y_0). \quad (2a)$$

Tegyük fel, hogy adott  $t$  időpontban a Dupuit—Thiem-féle törvény érvényes, úgy

$$\frac{2\pi mk (H_0 - y_0)}{\ln R/r} dt = \beta (H_0 - y_0) 2\pi R \cdot dR. \quad (3)$$

Rendezve az egyenletet és egyszerűsítve:

$$\frac{m \cdot k}{\beta} dt = R \ln R \cdot dR - R \ln r \cdot dR. \quad (4)$$

Integrálva:

$$\frac{m \cdot k}{\beta} t = R^2 \left( \frac{1}{2} \ln R - \frac{1}{4} \right) - \frac{R^2}{2} \ln r + C.$$

Ha  $t = 0$ ,  $R = r$ , és így  $C = \frac{r^2}{4}$ .

Behelyettesítve  $C$  értékét, és  $R$ -re megoldva egyenletünk az

$$R = \sqrt{\frac{\frac{2mk}{\beta} t - \frac{r^2}{2}}{\ln \frac{R}{r} - \frac{1}{2}}} \quad (5)$$

alakot ölti. Ez adja tehát a piezometrikus szint csökkenésének határát a szivattyúzási idő függvényében. Meglepő, hogy  $R$  nem függ a depresszió  $(H - y_0)$  nagyságától, csupán a szivattyúzási időtől. Látszik továbbá, hogy  $R$  csak fokozatos közelítéssel, iterációval számolható, mivel  $R$  a képlet jobb oldalán is szerepel.

A vízhozam közelítő értéke az ismert Dupuit—Thiem-képlettel számítható:

$$Q = \frac{2\pi m(H_0 - y_0)}{\ln R/r} \quad (6)$$

ahol tehát egy adott  $t$  szivattyúzási időhöz tartozóan az (5) képlettel kiszámított  $R$  értékét helyettesítjük be. Így a vízhozamok  $Q = f(t)$  függvénye megrajzolható.

## 2. Végtelen kiterjedésű vízvezető rétegbe telepített artézi kút depressziójának számítása $Q = Q_1$ konstans vízhozam esetében

A (6) képletben  $H_0 - y_0$  tulajdonképpen a depresszióval,  $s$ -sel egyenlő. Abban az esetben, ha  $Q = Q_1$  konstans értékkel, úgy a  $H_0 - y_0$ -nak kell változónak lennie. Tehát:

$$s = H_0 - y_0 = \frac{Q_1 \ln R/r}{2\pi mk} \quad (7)$$

Mivel  $R$  nem függ  $s$ -től, csak a szivattyúzási időtől, értéke a szivattyúzási idő

függvényében az (5) képletből számítható, és így a (7) képletbe konkrét értékkel behelyettesíthető.

### 3. Véges kiterjedésű vízvezető rétegbe telepített kút hozama konstans depresszió esetében

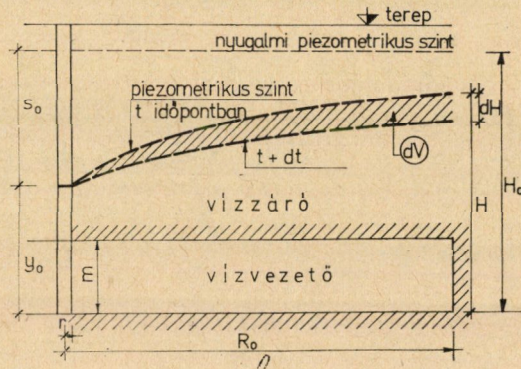
Ha a hatósugár már elérte a tápterület, tehát a vízáadó réteg határát,  $R$  nem nőhet tovább,  $R = R_0$  konstans lesz.

Ebben az esetben a 2. ábra szerint vizsgáljuk a vízhozam alakulását konstans depresszió esetében. Kiinduló egyenletünk:

$$Q \, dt = -\beta R_0^2 \pi \cdot dH, \quad (8)$$

azaz:

$$\frac{2\pi mk(H-y_0)}{\ln(R/r)} \, dt = -\beta R_0^2 \pi \cdot dH. \quad (9)$$



2. ábra.

Rendezve és összevonva az egyenletet, továbbá bevezetve az

$$A = \frac{2mk}{R_0^2 \ln R_0/r} \quad (10)$$

jelölést, kapjuk:

$$\frac{A}{\beta} \, dt = -\frac{dH}{H-y_0}. \quad (11)$$

Integrálva:

$$\frac{A}{\beta} \, t = -\ln(H-y_0) + C. \quad (12)$$

Ha  $t=0$ ,  $H=H_0$  ezért

$$C = \ln(H_0-y_0).$$

A helyettesítéseket elvégezve és rendezve:

$$H - y_0 = \frac{H_0 - y_0}{\exp\left(\frac{A}{\beta} t\right)} \quad (13)$$

Ezt a Dupuit—Thiem-képletbe helyettesítve kapjuk a vízhozamváltozás képletét:

$$Q = \frac{2 \pi m k (H_0 - y_0)}{\ln R_0/r} \cdot \exp\left(-\frac{A}{\beta} t\right) \quad (14)$$

#### 4. Véges kiterjedésű vízvezető rétegbe telepített kút depressziójának változása konstans vízhozam esetében

Abban az esetben, ha a vízhozamot konstans  $Q_1$  értékűnek óhajtjuk a 14. képletben a  $H_0 - y_0$  értéknek állandóan nőnie kell, tehát  $y_0$ -nak egyre kisebbnek kell lennie; nem maradhat konstans. Ha a (14) képletből kifejezzük ezt a  $H_0 - y_0 = s$  értéket, és  $Q = Q_1$ -et, úgy

$$s = \frac{Q_1 \ln R_0/r}{2 \pi m k} \exp\left(\frac{A}{\beta} t\right) \quad (15)$$

#### 5. A vízáadó réteg — a tápterület — határának ( $R_0$ ) elérési ideje ( $t_v$ )

Az (5) egyenletből, ha kifejezzük  $t = t_v$  és  $R = R_0$ -al, akkor a réteg-határ elérési idejét  $t_v$ -t kapjuk, azaz

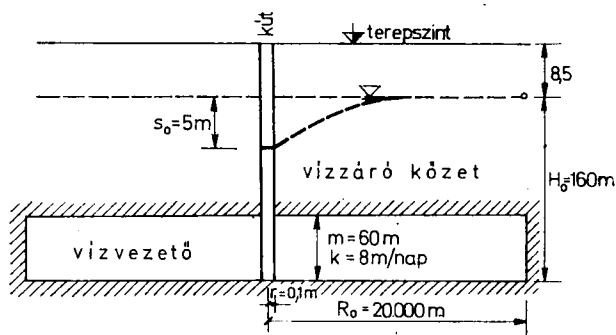
$$t_v = R_0^2 \left( \ln \frac{R_0}{r} - \frac{1}{2} \right) \frac{\beta}{2 m k} + \frac{\beta r^2}{4 m k} \quad (16)$$

Miután az egyenlet jobb oldalán a második tag rendszerint igen kicsi, írhatjuk:

$$t_v = R_0^2 \left( \ln \frac{R_0}{r} - \frac{1}{2} \right) \frac{\beta}{2 m k} \quad (17)$$

#### 6. Példák

Legyen a 3. ábrán jelölt geológiai helyzet egy  $r = 0,1$  m sugarú artézi kút körül. A víztartó réteg határa  $R_0 = 20\,000$  m. A vízáadó réteg vastagsága  $m = 60$  m,  $k = 8$  m/nap.  $\beta$  legyen ismert, 0,0001 értékű. Létesítsünk a kútban  $s = 5$  m konstans depressziót. Kérdés, hogy a szivattyúzási idő függvényében hogyan alakul a vízhozam?



3. ábra.

Számítsuk ki először a (17) képlet alapján, hogy mikor éri el a depressziós sugár a vízadó réteg határát, azaz meddig számolhatunk az (5) és (6) képletekkel:

$$t_v = 20\,000^2 \left( \ln \frac{20\,000}{0,1} - \frac{1}{2} \right) \frac{0,0001}{60,8} = 487 \text{ nap}.$$

Számítsuk ki pl.  $t = 10$  nap szivattyúzási időhöz tartozó  $R$  értéket az (5) képlettel. Vegyünk először fel  $R = 2500$  m-t, ekkor

$$R = \sqrt{\frac{\frac{2 \cdot 60 \cdot 8}{0,0001} \cdot 10 - \frac{0,1^2}{4}}{\ln \frac{2500}{0,1} - \frac{1}{2}}} = 3070 \text{ m}.$$

Ha a 3070 m-t újra behelyettesítjük,  $R$ -re 3085 m-t kapunk. Ezt már elfogadhatjuk helyes értéknek.

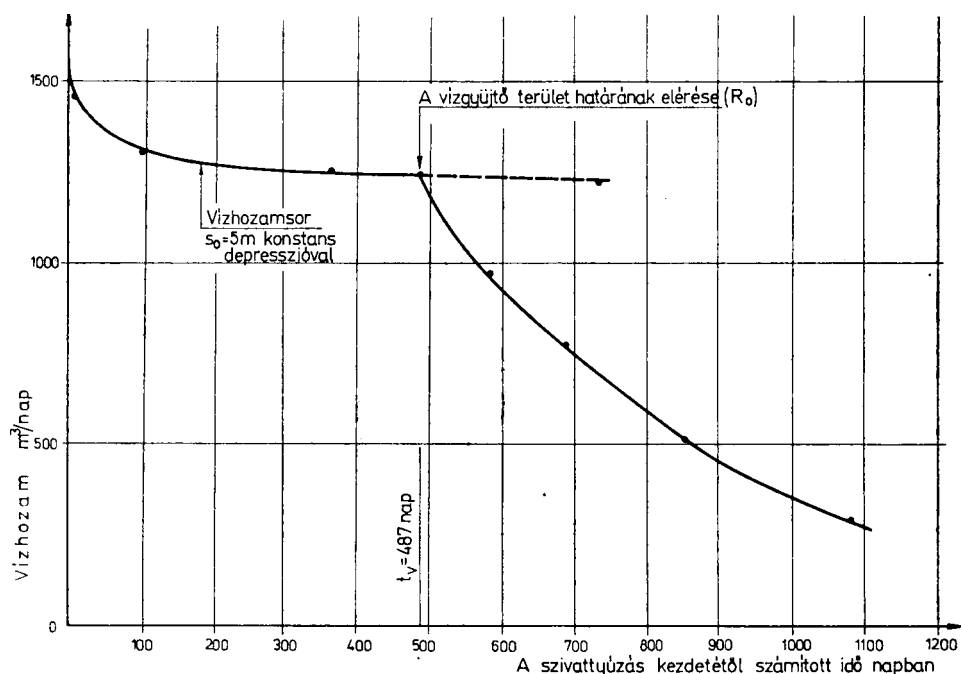
A  $t = 10$  napos szivattyúzási időhöz tartozó vízhozam tehát a (6) képlettel:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 60(60 - 55)}{\ln \frac{3085}{0,1}} = 1458 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

Kiszámítva különböző időpontokra az (5) képletből  $R$ -t és a (6) képletből  $Q$ -t (hasonlóan az előzőekhez), az alábbi táblázatot kapjuk:

| $t$ (nap)                                     | 1    | 10   | 100  | 365    | 487    | 730    |
|---|------|------|------|--------|--------|--------|
| $R$ (m) .....                                 | 1030 | 3085 | 9263 | 17 337 | 20 000 | 24 027 |
| $Q$ ( $\frac{\text{m}^3}{\text{nap}}$ ) ..... | 1631 | 1458 | 1318 | 1250   | 1240   | 1217   |

A fenti értékeket a 4. ábrán felraktuk. 487 nap után azonban a fenti vízhozamsor nem érvényes, ezért a diagramnak ez időpont utáni részét szaggatottan jelöltük. A  $t = 487$  nap utáni  $Q$ -t a (14) képlettel számoltuk, ahol a  $t$  értéket úgy értelmezzük, hogy a nulla időpont 487 nap-



4. ábra.

nál kezdődik. Számítsuk ki pl. a szivattyúzás kezdetétől számított 497 napi, azaz a (14) képlet szerinti  $t = 10$  napi szivattyúzáshoz tartozó vízhozamértéket.

A 10. képletből

$$A = \frac{2 \cdot 60 \cdot 8}{20\,000^2 \cdot \ln \frac{20\,000}{0,1}} = \frac{1}{4,3 \times 10^6}$$

A (14) képletből pedig

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 8 \cdot 5}{\ln \frac{20\,000}{0,1}} \cdot \exp \cdot \frac{-1 \cdot 10}{4 \cdot 3 \cdot 10^6} \cdot 0,0001 = 1210 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

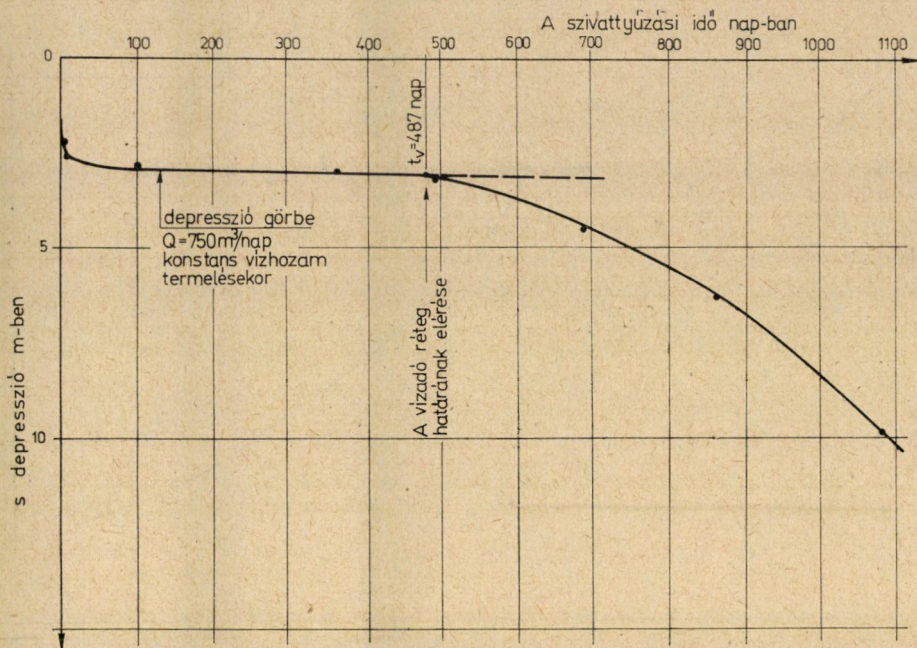
A különböző  $t$ -hez tartozó vízhozam:

| $t$ (nap)  | 487<br>+0 | 487<br>+10 | 487<br>+100 | 487<br>+365 | 487<br>+600 |
|--|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| $Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right)$ | 1240      | 1210       | 970         | 510         | 288         |

A fenti adatokat is berajzoltuk a 4. ábrába. Látható, hogy  $t_v = 487$  nap után a vízhozamban igen erős csökkenés következik.

Másik példánk legyen az előbbi adatokkal az az eset, mikor  $Q_1 = 750 \text{ m}^3/\text{nap}$  konstans hozamot akarunk kivenni. Kérdés, hogyan alakul a depresszió-idő függvény.





5. ábra.

$t_v = 487$  napig a (7) képlettel számolunk, a már kiszámolt  $R$  értékeket véve figyelembe, majd  $t_v = 487$  időpont után a (15) képlettel.

A számítási eredményeket az 5. ábrán tüntettük fel. Látható, hogy  $t_v = 487$  nap, azaz a vízáadó réteg határának elérése után a vízszintsüllyedés mértéke rohamosabbá válik.

### 7. A $\beta$ tényező meghatározása

A  $\beta$  tényezőt kísérleti adatokból határozzuk meg egy termelő és egy észlelőkút segítségével. Az (5) képletből  $\beta$ -t kifejezve

$$\beta = \frac{2 m k t}{-\frac{r^2}{2} + R^2 \left( \ln \frac{R}{r} - \frac{1}{2} \right)} \quad (18)$$

képletet kapjuk. Ismerjük a réteg jellemzőit:  $m$ ,  $k$  értékét, létesítünk egy adott depressziót a termelőkútban megmérjük azt a  $t_1$  időpontot, míg a figyelőkút vízszíne süllyedni nem kezd. A két kút távolsága ismert,  $R_1$ , tehát megmérünk egy adott  $t_1$  időponthoz tartozó  $R_1$  értéket. Ezekhez tartozó értékekkel a (18) képletből számítható.

*Példa  $\beta$  számítására.*

Fonyódon a két vízműkút egymástól való távolsága  $R_1 = 360$  m, A II. kútból történt szivattyúzás leszívó hatását a tőle 360 m távolságra levő I. sz. kútnál  $t_1 = 2$  óra  $= 0,083$  nap szivattyúzási idő után lehetett észlelni. A vízáadó réteg finom homok, vastagsága  $m = 11$  m, szivárgási tényezője  $k = 6,2$  m/nap. A kútsugár  $r = 0,1$  m-re vehető fel. A fedőréteg iszapos agyag.

A (18) képlettel



$$\beta = \frac{2 \cdot 11 \cdot 6,2 \cdot 0,083}{360^2 \left( \ln \frac{360}{0,1} - \frac{1}{2} \right)} = 0,0000114.$$

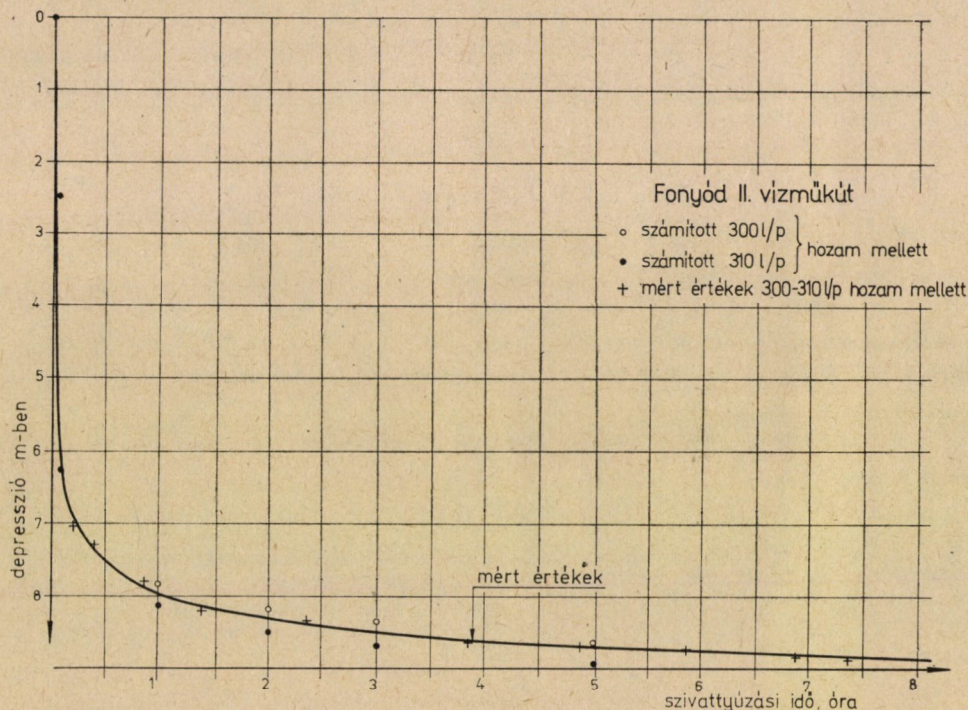
Itt tehát  $r^2/2$  értékét elhanyagoltuk.

### 8. Kísérlet a számítási eljárás igazolására

Fonyódon a már említett két vízműkútnál kísérletet hajtottunk végre. A II. számú (új) vízműkútból történt  $300 \div 310$  l/perc vízkivétel mellett mértük a II. és az I. kútban a vízszintsüllyedést.

Az alábbi példában közöltük a rétegjellemzőket, amelyeket az említett szivattyúzás alapján határoztunk meg.

A II. kútban mért vízszintsüllyedést a 6. ábrán raktuk fel. Ugyanott ábrázoltuk a fel-



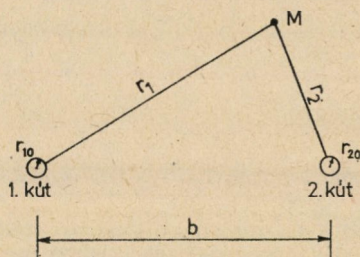
6. ábra.

tételezett  $Q_1 = 300$ , illetve  $Q_1 = 310$  l/perc vízkivétel esetében a 7., illetve az 5. képlet alapján számított vízszintsüllyedéseket is, a szivattyúzáskor kapott rétegjellemzők figyelembevételével. Látható, hogy a számítások a mérésekkel jó egyezést mutatnak, az eltérések csupán deciméter nagyságrendűek.

### 9. Megjegyzések

A tanulmány képleteinek alkalmazásánál a  $\beta$  tényező az egyik döntő mennyiség. A  $\beta$  tulajdonképpen eléggé összetett, arányosító mennyiség, amelyben alaki tényező, réteg- és vízrugalmassági modulus stb. szerepel. A képletek levezetésekor  $\beta$ -át állandónak tekintettük. Természetesen nem biztos, hogy ez min-





7. ábra.

den esetben, pl. nagyobb és hosszantartó leszívások esetében is érvényes. Erre vonatkozóan hosszabb idejű kísérletek adhatnak választ.

A képletek levezetésekor a Dupuit—Thiem-féle képlet alkalmazása közelítést jelent, mégpedig olyan értelemben, hogy a számolt  $R$  értékek a valóságosaknál kisebbek.

## II. Több artézi kút együttes működése

### 1. Két artézi kút esete konstans vízkivétel esetében

Több kút együttes működésének vizsgálatát a sebességpotenciálok összegezésének ismert módszerével végezzük el. Ehhez azonban több közelítéssel kell élnünk. Egyik közelítésünk a Dupuit—Thiem-féle képlet alkalmazása, a másik a határfeltételek közül az egyiknek erősen közelítő meghatározása.

Mint ismeretes, nyomás alatti szivárgáskor a sebességpotenciál a

$$\Phi = -kh \quad (19)$$

függvénnyel fejezhető ki, ahol  $h$  a piezometrikus szint az adott pontban.

1 db nyomás alatti termelőkútnál pedig

$$\Phi_1 = -\frac{Q_1}{2\pi n} \ln r_1 + C, \quad (20)$$

ahol  $r_1$  a kúttól mért távolság.

Tudjuk azt is, hogy a sebességpotenciálok deriváltja az adott pontban a szivárgás sebességét adja meg. Két, egymástól  $b$  távolságban levő kút esetében a sebességpotenciálok összegezhetsége alapján egy adott  $M$  pontban, amely az 1. kúttól  $r_1$ , a 2. kúttól  $r_2$  távolságra van (7. ábra), a sebességpotenciál értéke a kutak sebességpotenciáljának összegével egyenlő, azaz

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2.$$

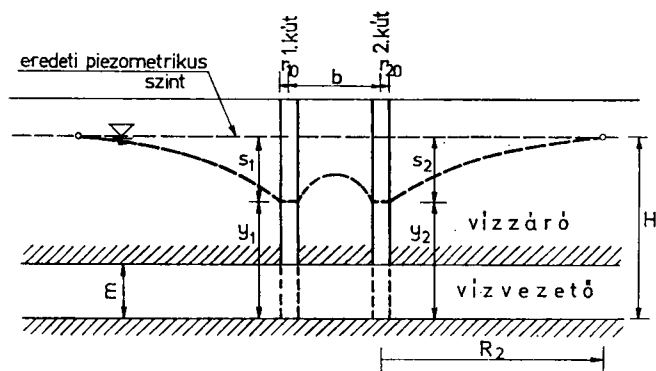
Behelyettesítve,

$$-kh = -\frac{Q_1}{2\pi m} \ln r_1 - \frac{Q_2}{2\pi m} \ln r_2 + C,$$

azaz

$$h = \frac{Q_1}{2\pi m} \ln r_1 + \frac{Q_2}{2\pi m} \ln r_2 + C.$$

$C$  értékét a határfeltételből állapítjuk meg (8. ábra).



8. ábra.

A fenti határfeltételeket a 23. képletbe helyettesítve:

$$H - h_1 = s_1 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{r_{10}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{b}. \quad (21)$$

A fenti képlet tehát a 2. kútban létrejövő depressziót adja meg, ha az 1. kútból  $Q_1$  és a 2. kútból  $Q_2$  vízmennyiséget veszünk ki. Ha  $Q_1 = Q_2 = Q$  és  $R_1 = R_2 = R$ , akkor

$$s_1 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^2}{r_{10} b}. \quad (22)$$

Ha az 5. képletet ( $R$  képletét) a 21. és 22. képletbe behelyettesítjük,  $s_1$  értékeit a szivattyúzási idő függvényében kapjuk meg.

A képletek alkalmazásakor tudnunk kell, hogy levezetésükben a Dupuit—Thiem-féle feltétel és a  $h = H$  esetben  $r_1 = R$  erős közelítést jelent, és hogy a közelítés annál inkább megengedhető, minél közelebb vannak egymáshoz a kutak; valamint azt is, hogy a képletek végtelen táplálási hosszú kútra, tehát  $R < R_0$  esetre érvényesek.

A 2. sz. kútnál előálló depresszió értéke

$$s_2 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{b} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{r_{20}}, \quad (23)$$

ahol  $r_{20}$  a 2. sz. kút sugara.

Ha  $Q_1 = Q_2 = Q$  és  $R_1 = R_2 = R$ , akkor

$$s_2 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^2}{b \cdot r_{20}} \quad (24)$$

## 2. Három artézi kút esete konstans vízhozam esetében

A depresszió függvényeket ugyanolyan elvek alapján kapjuk meg, mint két kút esetében. Jelölések a már ismerteken kívül:  $r_{10}$ ,  $r_{20}$ ,  $r_{30}$  az 1., 2., ill. a 3. sz. kút sugarát,  $b_{12}$  az 1. és 2. sz. kút közötti,  $b_{13}$  az 1. és 3. sz. kút közötti,  $b_{23} = b_{32}$  pedig a 2. és 3. sz. kút közötti távolságot jelenti.

Az 1. kútból  $Q_1$ , a 2. sz.-ból  $Q_2$  és a 3. sz.-ból  $Q_3$  vízhozam kiemelése esetében az 1. sz. kútnál a depresszió:

$$s_1 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{r_{10}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{b_{12}} + \frac{Q_3}{2\pi mk} \ln \frac{R_3}{b_{13}}; \quad (25)$$

ha  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$  és  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ,

$$s_1 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^3}{r_{10} b_{12} b_{13}} \quad (26)$$

A 2. sz. kútnál a depresszió

$$s_2 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{b_{12}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{r_{20}} + \frac{Q_3}{2\pi mk} \ln \frac{R_3}{b_{23}}, \quad (27)$$

illetve az egyszerűsített feltételekkel

$$s_2 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^3}{r_{20} b_{12} b_{23}} \quad (28)$$

A 3. sz. kútnál pedig

$$s_3 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{b_{13}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{b_{23}} + \frac{Q_3}{2\pi mk} \ln \frac{R_3}{r_{30}}, \quad (29)$$

illetve

$$s_3 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^3}{r_{30} b_{23} b_{13}} \quad (30)$$

### 3. Négy kút esete konstans hozam esetében

Az eddigi jelöléseket értelemszerűen tovább is alkalmazva, az 1. sz. kút depressziója négy kút működése esetében:

$$s_1 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{r_{10}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{b_{12}} + \frac{Q_3}{2\pi mk} \ln \frac{R_3}{b_{13}} + \frac{Q_4}{2\pi mk} \ln \frac{R_4}{b_{14}} \quad (31)$$

Az egyszerűsített képlet:

$$s_1 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^4}{r_{10} b_{12} b_{13} b_{14}} \quad (32)$$

A 2. sz. kút depressziója:

$$s_2 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{b_{12}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{R_2}{r_{20}} + \frac{Q_3}{2\pi mk} \ln \frac{R_3}{b_{23}} + \frac{Q_4}{2\pi mk} \ln \frac{R_4}{b_{24}} \quad (33)$$

Az egyszerűsített képlet:

$$s_2 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^4}{r_{20} b_{12} b_{23} b_{24}} \quad (34)$$

Általánosságban az  $i$ -ik kút depressziója a fenti képletekben mutatkozó törvényszerűség alapján könnyen felírható. Az  $i$ -ik kútnál ugyanis az  $\ln$  nevezőjében levő szorzat egyik tényezője az  $i$ -ik kút sugara ( $r_{i0}$ ), többi tényezője pedig az egyes kutak és az  $i$ -ik kút közötti távolság.

### 4. Öt kút esete konstans hozam esetében

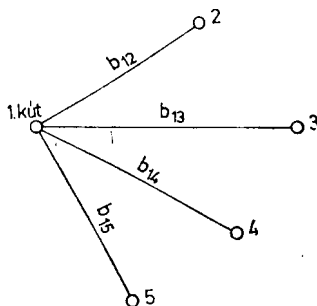
Öt kút esetében is elvileg az előbbiekhöz hasonló módon kell a képleteket felírni. Tehát pl. az 1. sz. kút depressziója:

$$s_1 = \frac{Q_1}{2\pi mk} \ln \frac{R_1}{r_{10}} + \frac{Q_2}{2\pi mk} \ln \frac{k_2}{b_{12}} + \frac{Q_3}{2\pi mk} \ln \frac{k_3}{b_{13}} + \frac{Q_4}{2\pi mk} \ln \frac{R_4}{b_{14}} + \frac{Q_5}{2\pi mk} \ln \frac{R_5}{b_{15}} \quad (35)$$

Az egyszerűsített képlet, ha mindegyik kútból azonos vízhozamot emelünk ki és a hatósugarak is egyenlők ( $R_1, R_2, \text{stb.} = R$ -rel)

$$s_1 = \frac{Q}{2\pi mk} \ln \frac{R^5}{r_{10} b_{12} b_{13} b_{14} b_{15}}, \quad (36)$$

ahol tehát  $s_1$  az 1. kút depressziója,  $r_{10}$  az 1. kút sugara,  $b_{12}$ ,  $b_{13}$  stb. a 2., 3. stb. kutak távolsága az 1. kúttól,  $R_1$ ,  $R_2$  stb. az 1., 2. stb. kút depressziójának hatósugara  $Q_1$ ,  $Q_2$  stb. vízhozam esetében (9. ábra).



9. ábra.

### 5. A képletek alkalmazási köre, példa

A több kútra levezetett képletekkel az egyes kutaknál kialakuló depressziókat számítjuk arra az esetre, ha a kutakból kivett vízhozamok állandók. Ez a feltétel a gyakorlatban a bűvárszivattyús vízkivételnek felel meg. A képletekben szereplő  $R$  értékeket az (5) képlettel számoljuk, amely az  $R$  értékét a szivattyúzási idő függvényében ( $t$ ) fejezi ki, és így az  $s = f(t)$  függvényhez jutunk. A képletekből tehát az egyes kutak depresszióját a szivattyúzási idő függvényében kapjuk meg.

Az elmondottakból következik, hogy a több kútra levezetett képletek csak addig alkalmazhatók, amíg a depressziók hatósugara  $R$ -rel nem éri a vízáadó réteg határát,  $R_0$ -át, azaz  $t_v$  időpontig. A levezetésnél használt közelítések miatt pedig a kapott  $R$  és  $s$  értékek a valóságosnál kisebbek.

*Példaként vizsgáljuk meg a már említett fonyódi vízmű kérdéseit. A vízáadó réteg finom homok, vastagsága  $m = 11$  m,  $k = 6,2$  m/nap,  $\beta = 0,0000114$ , a vízáadó réteg alsó síkja fölött a piezometrikus szint  $H = 100$  m.*

Egy kútból 300 l/p vízhozamot akarunk kivenni, de összesen 900 l/p-re van szükségünk. Telepítsünk ezért 3 db kútát egymástól 360 m-re. A kutak sugara  $r = 0,1$  m legyen. Kérdés, hogyan alakulnak a depressziók a szivattyúzási idő függvényében. Jelen esetben  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q = 300$  l/p = 432 m<sup>3</sup>/nap. Mivel a réteg egyöntetű, izotrop, a kutak sugara egyenlő, továbbá  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  ezért az egyszerűsített képletekkel számolhatunk. Először az (5) képlet segítségével kiszámítjuk  $R$  értékeit a különböző szivattyúzási időpontokhoz ( $t$ -hez) hasonlóan az I/6 ponthoz. A számítási eredményeket a tuloldali táblázat tartalmazza.

A depresszió ( $s_1$ ) számítása a következőképpen történik:

Az 1. sz. kútnak pl. a  $t = 365$  napon előálló depressziója abban az esetben, ha három kút működik a (26) képlettel számolva.

$$s_1 = \frac{432}{2 \pi \cdot 11 \cdot 6,2} \ln \frac{19\,000^3}{0,1 \cdot 360 \cdot 360} = 1,01 \cdot 20,3 = 20,4 \text{ m.}$$

| Szivattyú-<br>zási idő<br>$t$ nap | $R$<br>$m$ | 1 kút<br>működik | 2 kút<br>működik | 3 kút<br>működik |
|-----------------------------------|------------|------------------|------------------|------------------|
|                                   |            | $s_1 m$          | $s_1 m$          | $s_1 m$          |
| 1                                 | 1 130      | 9,35             | 10,46            | 11,59            |
| 10                                | 3 900      | 10,60            | 12,97            | 15,34            |
| 30                                | 5 700      | 11,00            | 13,76            | 16,52            |
| 100                               | 10 200     | 11,54            | 14,88            | 18,22            |
| 200                               | 14 100     | 11,85            | 15,51            | 19,17            |
| 365                               | 19 000     | 12,20            | 16,20            | 20,40            |
| 730                               | 26 500     | 12,48            | 16,78            | 21,08            |
| 1825                              | 41 000     | 12,90            | 17,63            | 22,36            |

Ha csak egy kút működik, akkor a (7) képlet szerint

$$s_1 = \frac{432}{2 \pi \cdot 11 \cdot 6,2} \ln \frac{19\,000}{0,1} = 1,01 \cdot 12,15 = 12,20 \text{ m.}$$

Két kút működése esetében a (22) képlet alapján

$$s_1 = \frac{432}{2 \pi \cdot 11 \cdot 6,2} \ln \frac{19\,000^2}{0,1 \cdot 360} = 1,01 \cdot 16,1 = 16,2 \text{ m.}$$

A táblázat szerint a bűvárszivattyúkat három kút esetében — öt éves szivattyúzási időszak figyelembevételével — legalább 23 m mélységre kell helyezni.

Ha a kutakat közelebb tesszük egymáshoz, a depressziók természetesen nagyobbak lesznek. Legyen pl. a kutak egymástól való távolsága 50 m. Ebben az esetben  $t = 365$  nap, vagyis egy év múlva az 1. sz. kút depressziója, ha mind a három kút üzemel

$$s_1 = \frac{432}{2 \pi \cdot 11 \cdot 6,2} \ln \frac{19\,000^3}{0,1 \cdot 50 \cdot 50} = 24,01 \text{ m.}$$

Két kút üzeme esetében a depresszió 18,08 m-re adódik.

A képletből egyébként látható, hogy a vízhozammal lineárisan arányos. Abban az esetben tehát, ha egy adott vízhozamnál már ismeretesek a depressziók értékei, bármely vízhozamhoz tartozó depresszió érték egyszerű arányosítással számítható.

## 6. Több kút hozama konstans depresszióval

Konstans depresszió esetében legyen két kút depressziója ismert, és keressük a  $Q_1$ , illetve  $Q_2$  értékeit. A 21. és 23. egyenletből a két ismeretlen kiszámítható, hiszen  $s_1$  és  $s_2$  konstansok, ismertek. Ha  $Q_1 = Q_2 = Q$ ,  $R_1 = R_2 = R$ ,  $s_1 = s_2 = s_0$  és  $r_{20} = r_{10} = r_0$ ; úgy az egyszerűsített képletből (24) a  $Q$  közvetlenül kifejezhető;

$$Q = \frac{s_0 2 \pi m k}{\ln \frac{R^2}{r_0 b}} \quad (37)$$

Több kútból álló rendszer esetében a számítás hasonló elvek alapján történik. Három kút esetén pl. a (25), (27) és (29) egyenletek az alapegyenletek.

Ezekből rendre kifejezzük és behelyettesítjük a  $Q_1$ ,  $Q_2$  illetve  $Q_3$  értékeket. Több kút esetében természetesen ez az eljárás már eléggé hosszadalmas. Az egyszerűsített képletekből természetesen gyorsabban kapunk eredményt. Három egyenlő távolságú kút esetében pl. a vízhozam:

$$Q = \frac{s_0 2 \pi m k}{\ln \frac{R^3}{r_0 b_{12} b_{13}}} \quad (38)$$

A képletekbe helyettesítendő  $R$  értékét előbb az (5) képlettel kell kiszámítanunk. Ebből következik, hogy ez a számítási mód is csak addig érvényes, míg  $R < R_0$ , vagyis amíg a depresszió hatósugara el nem éri a vízáadó réteg határát.

*Példaképpen* számítsuk ki a fonyódi kutak vízhozamának alakulását arra az esetre, ha centrifugális szivattyút alkalmazunk, és így a lehetséges maximális depresszió ( $s_0$ ) mindössze 6 m.

Ha a szivattyúzási idő  $t = 365$  nap, akkor  $R = 19\,000$  m (l. az előző táblázatban). Helyettesítve továbbá  $b_{12} = b_{13} = 360$  m és  $r_0 = 0,1$  m értékeket a (38) képletbe, az egy év múlva kivethető vízhozam:

$$Q = \frac{6 \cdot 2 \pi \cdot 11 \cdot 6,2}{\ln \frac{19\,000^3}{0,1 \cdot 360 \cdot 360}} = 117 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

Ennyi lesz tehát a vízhozam mind a három kútnál, külön-külön.

Ha a kutak távolsága csak 50 m, a vízhozam:

$$Q = \frac{6 \cdot 2 \pi \cdot 11 \cdot 6,2}{\ln \frac{19\,000^3}{0,1 \cdot 50 \cdot 50}} = 98 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

Az alábbi táblázat a vízhozamok idősorát tartalmazza 360 m kúttávolság esetére.

| Szivattyúzási idő, nap | A kutak egyenkénti hozama $\text{m}^3/\text{nap}$ |
|------------------------|---|
| 1                      | 203   |
| 10                     | 153   |
| 30                     | 142   |
| 100                    | 129   |
| 200                    | 122   |
| 365                    | 117   |
| 730                    | 111   |
| 1825                   | 105   |

Láthatjuk, hogy a kutankénti  $432 \text{ m}^3/\text{nap}$  vízhozamot nemcsak hogy nem tudjuk biztosítani, de a kezdeti kisebb vízhozam is nagymértékben csökken. Centrifugál szivattyú alkalmazása esetén gyakorlatilag már két év múlva három kút ad annyi vizet, mint bűvárszivattyúval egy.



### Megjegyzések

Rétegnyomásos artézi kutakkal kapcsolatban eddig használt méretezési módok közül elsősorban a Theis—Jacob-féle módszert kell megemlítenünk. THEIS 1935-ben [1] vezette be a hőmozgás analógiájára a nem permanens szivárgás képletét, amelyet egyensúlyhiány-módszernek nevezett el, majd JACOB később 1940-ben [2] levezette a Theis-féle képletet kizárólagosan hidraulikai alapon. Az alapidifferenciálegyenlet végtelen kiterjedésű vízadó réteget tételez fel, ezért annak különböző közelítésű megoldásai szintén csak erre az esetre vonatkoznak. THEIS—JACOB azonkívül csak a konstans vízhozam esetére adott megoldást, erre az esetre a depresszió időbeni alakulását  $s = f(t)$  függvényt számítják. Erre vonatkozó képletét több helyen leközlötték már (pl. 6.). Ennek az „s” függvénynek az a lényege, hogy egy exponenciális integrált is tartalmaz és két ismeretlen is szerepel benne, azért a pontos, teljes analitikus megoldás lehetetlen. THEIS is, és az utána következő kutatók arra törekedtek, hogy az említett  $s = f(t)$  függvény közelítő, de minél egyszerűbb számítási eljárásait kidolgozzák. Lényegében ezen az úton haladtak egyéb külföldi kutatók is.

Az említett megoldások alapjukban véve tehát végtelen vízadó réteg esetére vonatkoznak, és konstans vízhozam esetére adják a depresszió idősort. Nem tárgyalják tehát azt az esetet, amikor végtelen vízadó réteg van, de konstans depresszió szerepel és ezért a vízhozamunk változik, azaz csökken a szivattyúzási idő függvényében. Ugyancsak nem tárgyalják azt az esetet, amikor a depresszió hatósugara ( $R$ ), már elérte a vízadó réteg határát ( $R_0$ -t).

A szovjet kutatóknak egy része más utat is követett, különösen az olajbányászat területén. Itt is közelítő megoldásokat kerestek, mégpedig elsősorban az ún. pillanatnyi permanens állapot módszerével. Itt több esetet kidolgoztak, elsősorban SCSELKACSEV, V. V. és LAPUK, B. B.

### IRODALOM

1. THEIS, CH. V.: The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of the Well using Groundwater Storage. *Transactions, Am. Geol.* 16 (1935), 519—524.
2. JACOB, C. E.: On the Flow of Water in an Elastic Artesian Aquifer *Transactions. Am. Geoph. Un.* II. July (1940), 574—586.
3. SCSELKACSEV, V. N.— B. B. LAPUK: Földalatti hidraulika, Nehézipari Könyvkiadó, Budapest 1952.
4. SCSELKACSEV, V. N.: Razrabotka nyeftevodonosznüh plantov pri uprugom rezsimе. Moszkva 1959.
5. LÉCZFALVY S.: Artézi kutak hidrogeológiai méretezése. VIZITERV kézirat (VHS-73) Budapest 1967.
6. WISLER, C. O. — BRATER, E. F.: Hydrology. New-York 1954.

**Hydrological Dimensioning of Water-Works Fed by Artesian Wells.** Dimensioning of artesian wells operated by stratum-pressure and groups of wells is discussed. First of all, the formulas for the calculation formulas of an isolated artesian well in the case of nonsteady flow are derived, dealing first with the case, where the action radius of the depression does not extend to the border of the permeable layer, i.e., to the supply area. For this case two formulas are deduced. The first of those shows the variation of the action radius of the depression depending on the pumping time in the case of a constant depression. The other one defines the time-dependent variation of the draw-down, i.e., the elevation of water level in the well, but in the case of a constant yield. Also for the moment of attaining the border of the feed area a new formula is presented. In the second part of the paper formulas have been established for the calculation of the time-dependent variation of the depression taking place in each of this wells, in the case of simultaneous operation of a number of artesian wells in a permeable stratum of infinite extension, and of a constant exploitation, finally the discharge series are calculated for a constant depression.

**Hydrologische Bemessung eines durch artesische Brunnen genährten Wasserwerks.** In der Abhandlung wird die Dimensionierung der durch Lagerstättendruck betätigten artesischen Brunnen und Brunnengruppen behandelt. Erstens werden Formeln für die Berechnung eines Einzelbrunnens im Falle von nicht beständiger Strömung abgeleitet, und zunächst wird der Fall erörtert, wo die Wirkungsweite der Depression die Grenze der wasserführenden Schicht, d. h. des Nährgebiets noch nicht erreicht erreicht hat. Für diesen Fall werden zwei Formeln abgeleitet; die erste von ihnen zeigt die Änderung der Wirkungsweite der Depression in Abhängigkeit von der Zeitdauer des Pumpens bei konstanter Depression. Die zweite Formel beschreibt die zeitabhängige Änderung der Absenkung, d. h. der Wasserhöhe im Brunnen, aber im Falle einer konstanten Ergiebigkeit. Zur Ermittlung der zur Erreichung der Nährgebietsgrenze erforderlichen Zeitdauer wird auch eine Formel angegeben. Im zweiten Teil der Abhandlung werden für den Fall der Zusammenwirkung von mehreren Steighrinnen in einer Schicht von unendlicher Ausbreitung Formeln für die in den einzelnen Brunnen eintretenden zeitabhängigen Depression entwickelt, wenn eine konstante Entnahme aus den einzelnen Brunnen stattfindet. Schließlich werden die Ergiebigkeitsserien im Falle einer konstanten Depression berechnet.

# FOLYADÉK-GŐZ RENDSZER IZOCHOR ÁLLAPOT-VÁLTOZÁSÁRÓL

HOFFMANN GYÖRGY\* és BAUER FERENC\*

[Beérkezett 1969. január 30-án]

A folyadék-gőz rendszer izochor állapotváltozásánál a gőz, ill. folyadék komponens térfogata a hőmérséklet függvénye. Ha a rendszer állapota a nyomás-térfogat ( $p$ ,  $V$ ) diagramon a kritikus izochor közelébe esik, akkor problémát okoz annak az eldöntése, hogy pl. a gőztérfogat-hőmérséklet függvény növekvő vagy csökkenő jellegű. A cikk eljárást ír le, amellyel a gőztérfogat-hőmérséklet függvény növekvő vagy csökkenő jellege a kritikus izochorhoz közeli és távoli állapotokban egyaránt meghatározható. Formulát ad meg, amellyel a fajlagos gőz- és folyadéktérfogat hőmérsékletfüggésének ismeretében a kritikus fajtérfogatra becslés adható. Megvizsgálja néhány kis, közepes és nagy kritikus hőmérsékletű anyag viselkedését izochor állapotváltozásnál. A kapott eredmények azt mutatják, hogy a gőztérfogat-hőmérséklet függvény lefutása a kritikus izochor közelében anomális.

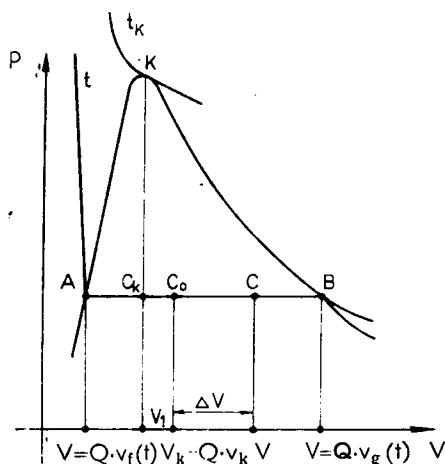
## Jelölések

|            |   |
|------------|---|
| $B$        | A (11) formula által meghatározott mennyiség;   |
| $M$        | a molekulasúly;   |
| $Q$        | a rendszer összsúlya [gs];  |
| $P$        | parachor;   |
| $P_i$      | a parachor atomhoz vagy kémiai kötéshez tartozó összetevője;                            |
| $p$        | a nyomás [kp/cm <sup>2</sup> ];   |
| $p_k$      | a nyomás a kritikus állapotban [kp/cm <sup>2</sup> ];                                   |
| $p_0$      | a nyomás az izochor fordulópontban [kp/cm <sup>2</sup> ];                               |
| $r$        | a gőzfázis és folyadékfázis térfogatának aránya;  |
| $r_k$      | a gőzfázis és folyadékfázis térfogatának aránya a kritikus izochoron;                   |
| $r_0$      | a gőzfázis és folyadékfázis térfogatának aránya a $V_1$ térfogatnál;                    |
| $t$        | a hőmérséklet [°C];   |
| $t_k$      | a kritikus hőmérséklet [°C];  |
| $t_0$      | a hőmérséklet az izochor fordulópontban [°C];   |
| $V$        | a rendszer össztérfogata [cm <sup>3</sup> ];  |
| $V_k$      | a rendszer kritikus össztérfogata [cm <sup>3</sup> ];                                   |
| $V_1$      | a rendszer össztérfogata az izochor fordulópontban [cm <sup>3</sup> ];                  |
| $V_0$      | a rendszer súlyegységére eső térfogata az izochor fordulópontban [cm <sup>3</sup> /gs]; |
| $\Delta V$ | a (8) formula által meghatározott mennyiség [cm <sup>3</sup> ];                         |
| $v_f$      | a folyadékfázis fajtérfogata [cm <sup>3</sup> /gs];                                     |
| $v_g$      | a gőzfázis fajtérfogata [cm <sup>3</sup> /gs];  |
| $v_{ksz}$  | a Meissner—Redding-féle összefüggésből számított fajtérfogat [cm <sup>3</sup> /g];      |
| $v_k$      | a kritikus fajtérfogat [cm <sup>3</sup> /gs];   |
| $W_f$      | a folyadékfázis térfogata [cm <sup>3</sup> ];   |
| $W_g$      | a gőzfázis térfogata [cm <sup>3</sup> ];  |
| $\gamma$   | a felületi feszültség [dyn/cm];   |
| $\rho_f$   | a folyadékfázis sűrűsége [g/cm <sup>3</sup> ];  |
| $\rho_g$   | a gőzfázis sűrűsége [g/cm <sup>3</sup> ].   |

\* Magyar Optikai Művek Kutatási Főosztálya. Csörsz u. 35/43. Budapest XII.,

## I. Bevezetés

Rögzített összsúlyú folyadék-gőz rendszer izochor állapotváltozásánál a komponensek térfogata a hőmérséklet függvénye. Tekintsük pl. a gőztér-fogat-hőmérséklet függvényt, amelyet a továbbiakban  $W_g(t)$ -vel fogunk jelölni. A  $W_g(t)$  függvény menetét lényegesen befolyásolja a rendszer térfogatának nagysága. Ha az össztérfogát eléggé kicsiny, és annak nagy részét a folyadékfázis tölti ki, akkor a hőmérséklet növelésekor a gőz térfogata csökken (a folyadék térfogata nő). Eléggé nagy hőmérsékleten a folyadék teljesen kitölti a rendszer térfogatát. Evvel ellentétes irányú folyamat játszódik le, ha olyan



1. ábra. A folyadék-gőz rendszer izotermáinak tipikus menete a  $pV$  diagramon

rendszert melegítünk, amelynek össztérfogata megfelelően nagy és abban viszonylag kevés folyadék van. Most a gőz térfogata növekszik (a folyadéké csökken), eléggé nagy hőfokon térfogatot teljes egészében gőz tölti ki.

A folyadék-gőz rendszer elsőnek említett viselkedésén alapszik a folyadékös hőmérők működése, ezért ezt „hőmérőszerű” viselkedésnek nevezhetjük. A másodiknak leírt folyamatot hasznosítják akkor, amikor a vizet állandó térfogaton gőzzé alakítják. Ez az eset áll fenn pl. a kenyérsütésnél használt Perkins-csöves gőzsütőkemencénél. Azt mondhatjuk tehát, hogy ekkor a folyadék-gőz rendszer „Perkinscső-szerű” sajátságot mutat.

Felvetődik az a kérdés, hogyan lehet eldönteni egy adott termodinamikai állapotban levő rendszernél, hogy az „hőmérőszerűen” vagy „Perkinscső-szerűen” fog-e viselkedni, ha hőmérsékletét megváltoztatjuk. Abból a célból, hogy erre a kérdésre választ kapjunk, ábrázoljuk a rendszer állapotát a nyomás-térfogat ( $p$ ,  $V$ ) diagramon. A vizsgált,  $p$  nyomással,  $t$  hőmérséklettel és  $V$  össztérfogattal jellemzett állapotot az 1. ábrán a  $C$  pont jelöli. Az 1. ábrán

feltüntetettük a rendszer  $V_k$  kritikus térfogatához tartozó  $KC_k$  kritikus izochort is. (A  $K$  pont a kritikus állapotot jelöli.) Mármost ismeretes az a tapasztalati szabály, hogy a folyadék-gőz rendszer „Perkinscső-szerűen” viselkedik, ha a rendszert jellemző  $C$  pont a kritikus izochortól eléggé jobbra helyezkedik el ( $V_k < V$ ); hőmérőszerű viselkedést kapunk viszont akkor, ha a  $C$  pont a  $KC_k$  izochortól balra helyezkedik el ( $V < V_k$ ).

Ez a megállapítás azon a tényen alapszik, hogy a gőz komponens (ill. a folyadék komponens) térfogata keveset változik, ha a rendszer állapota a  $KC_k$  kritikus izochor mentén tolódik el. Kísérletileg ez jól kimutatható: a rendszert a kritikus hőmérsékletig melegítve a folyadékfázis felszíne keveset mozdul el; a gőztérfogat-folyadéktérfogat arány zérustól különböző, véges értékhez tart. A kritikus állapotot megközelítve eltűnik a folyadékot és gőzt elválasztó határfelület, a két fázis összekeveredik, fellép a kritikus opaleszcencia. A kritikus állapotban a rendszer teljesen homogénné válik.

Az előbb említett tapasztalati szabályt matematikailag úgy fogalmazhatjuk, hogy a  $W_g(t)$  függvény rögzített össztérfogat melletti differenciálhányadosa a kritikus izochor mentén közelítőleg zérus, attól jobbra, ill. balra megfelelő távolságra elhelyezkedő állapotokban (ld. az 1. ábrát) pozitív, ill. negatív. Jól használható ez a szabály abban az esetben, ha a vizsgált állapot ( $C$  pont) a kritikus izochortól eléggé távol van. Nem alkalmazható azonban a  $KC_k$  izochor közelében, mert a kritikus izochor mentén — ha kis mértékben is — de változik a gőztérfogat a hőmérséklet függvényében, vagyis a  $[W'_g(t)]_{V=V_k} = 0$  összefüggés nem teljesül pontosan.

Ahhoz, hogy a rendszernek a kritikus izochorhoz közel eső állapotában is el tudjuk dönteni, hogy az „hőmérőszerűen” vagy „Perkinscső-szerűen” viselkedik-e, az szükséges, hogy a  $(p, V)$  diagramon meghatározzuk azokat az állapotokat, amelyekben pontosan fennáll a  $[W'_g(t)]_{V=\text{const.}} = 0$  összefüggés. E dolgozatban elsősorban ezzel a kérdéssel foglalkozunk és a tárgyalás során egy olyan formulához jutunk, amelyet a kritikus fajtérfogat becslésének lehet tekinteni, és amelynek értékét a folyadék fajtérfogat-, ill. a gőz fajtérfogat-hőmérséklet függvény ismeretében ki lehet számítani. Megvizsgáljuk, hogy néhány eltérő jellegű anyagnál milyen közelítést ad ez a képlet a kritikus fajtérfogatra.

## II. A folyadék-gőz rendszer izotermái és az izochor állapotváltozás

A folyadék-gőz rendszer egy jellegzetes izotermájának menetét a  $(p, V)$  diagramon az 1. ábra mutatja ( $p$  a gőz nyomása,  $V$  a rendszer össztérfogata). Legyen a rendszer összsúlya  $Q$ . Jelöljük a folyadék, ill. gőz fázis  $t$  hőmérsékletéhez tartozó fajtérfogatát  $v_f(t)$ -vel, ill.  $v_g(t)$ -vel. Az 1. ábrán látható  $K$  pont a kritikus állapotnak felel meg; az ehhez tartozó hőmérséklet, nyomás és tér-

fogat rendre  $t_k$ ,  $p_k$  és  $V_k$ . Minthogy a kritikus állapotban a folyadék-, ill. gőzfázis minden fizikai jellemzője megegyezik, azért a  $K$  pontban a két fázis fajtérfogata egyenlő, így

$$V_k = Q \cdot v_k = Q \cdot v_f(t_k) = Q \cdot v_g(t_k), \quad (1)$$

ahol  $v_k$  a kritikus fajtérfogat.

Jelöljük a  $t$  hőmérséklethez tartozó  $AB$  izoterma  $C$  pontjában a folyadékfázis térfogatát  $W_f$ -el, a gőzfázisét pedig  $W_g$ -vel. A rendszer össztérfogata  $W_f$ -ből és  $W_g$ -ből tevődik össze:

$$V = W_f + W_g \quad (2)$$

A folyadék, ill. a gőz fajtérfogata a  $C$  pontban  $v_f(t)$ , ill.  $v_g(t)$ , mert az  $A$ ,  $B$  és  $C$  pontokban a nyomás és hőmérséklet megegyezik. Ezért a folyadékfázis súlya  $W_f/v_f$ , a gőzfázis súlya pedig  $W_g/v_g$ . A rendszer összsúlya a feltevés szerint  $Q$ :

$$\frac{W_f}{v_f} + \frac{W_g}{v_g} = Q \quad (3)$$

fejezzük ki (2)-ből és (3)-ból  $W_g(t)$ -t:

$$W_g(t) = \frac{v_g(V - Q \cdot v_f)}{v_g - v_f} \quad (4)$$

Határozzuk meg  $W_g(t)$  egységnyi hőmérsékletváltozásra eső megváltozását állandó össztérfogat mellett ( $V = \text{const.}$ ). (4)  $t$  szerinti differenciálását elvégezve a következő eredményre jutunk:

$$[W'_g(t)]_{V=\text{const.}} = \frac{v_f \cdot v'_g(Q \cdot v_f - V) + v'_f \cdot v_g(V - Q \cdot v_g)}{(v_g - v_f)^2} \quad (5)$$

Vizsgáljuk meg, hogy  $V$  mely  $V_1$  értékénél lesz  $W'_g(t) = 0$ . Minthogy  $v_f \neq v_g$ , azért (5) szerint

$$v_f \cdot v'_g(Q \cdot v_f - V_1) + v'_f \cdot v_g(V_1 - Q \cdot v_g) = 0 \quad (6)$$

számítsuk ki a (6) egyenletből  $V_1$ -et:

$$V_1(t) = \frac{Q \cdot (v'_f \cdot v_g^2 - v_f^2 \cdot v'_g)}{v'_f \cdot v_g - v_f \cdot v'_g} = Q \cdot V_0(t). \quad (7)$$

Vezessük be a következő jelölést:

$$V = V_1 + \Delta V, \quad (8)$$

akkor a (8)-at (5)-be írva a következő összefüggést kapjuk:

$$[W'_g(t)]_{V=\text{konst.}} = \frac{\Delta V \cdot (v'_f \cdot v_g - v_f \cdot v'_g)}{(v_g - v_f)^2}; \quad (9)$$

vagy röviden

$$[W'_g(t)]_{V=\text{konst.}} = \Delta V \cdot B, \quad (10)$$

ahol

$$B = \frac{v'_f \cdot v_g - v_f \cdot v'_g}{(v_g - v_f)^2}. \quad (11)$$

A továbbiakban szükségünk lesz a gőz- és folyadékfázis térfogatának arányára  $W_g/W_f$ -re; számítsuk ki tehát ezt is oly módon, hogy a  $W_g$ -t (2)-be írjuk és a  $W_f$ -et kifejezzük:

$$W_f = \frac{v_f(Q \cdot v_g - V)}{v_g - v_f}. \quad (12)$$

$W_g/W_f$  a (4) és (12) szerint

$$r = \frac{W_g}{W_f} = \frac{v_g(V - Q \cdot v_f)}{v_f(Q \cdot v_g - V)}. \quad (13)$$

A (13) alatti  $r$  térfogatarány értéke a  $V_k = Q \cdot v_k$  kritikus térfogathálál:

$$r_k = \left( \frac{W_g}{W_f} \right)_{V=v_k} = \frac{v_g(v_k - v_f)}{v_f(v_g - v_k)}. \quad (14)$$

Helyettesítsük be (13)-ba  $V_1$  (7)-ben megadott értékét. A számítást elvégezve kapjuk, hogy

$$r_0 = \left( \frac{W_g}{W_f} \right)_{V=V_1} = - \frac{v_g^2 \cdot v'_f}{v_f^2 \cdot v'_g}. \quad (15)$$

### III. A gőzfázis térfogatváltozása kis hőmérsékletváltozás esetén

A levezetett formulákból és a folyadék-gőz rendszer izotermáinak általános tulajdonságaiból levonhatunk néhány egyszerű következtetést. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért mindenütt egységnyi összsúlyú ( $Q = 1$  gs) rendszereket tekintünk, ami nem jelent különösebb megszorítást.

Először is (7) szerint minden  $t \neq t_k$  hőmérséklethez tartozik egy  $V_1 = V_0(t)$  érték, melyet  $v_f(t)$  és  $v_g(t)$  egyértelműen meghatároz. Bizonyítjuk, hogy a  $V_1$  térfogat a  $v_f(t)$  és  $v_g(t)$  érték közé esik, vagyis  $V_1$  az 1. ábrán látható



$AB$  szakasz valamely belső  $C_0$  pontjához tartozik. Az igazolandó összefüggés tehát az, hogy

$$v_f < V_0 < v_g. \quad (16)$$

A tapasztalat szerint fennállnak a következő összefüggések:

$$v_f(t) < v_g(t); \quad (17)$$

$$0 < v'_f(t); \quad (18)$$

$$v'_g(t) < 0, \quad (19)$$

ha  $t \neq t_k$ : A (18) és (19) összefüggésből következik, hogy  $V_0$  (7) alatti értéknek nevezője pozitív. Szorozzuk meg az említett nevezővel pl. a  $V_0 < v_g$  egyenlőtlenséget mindkét oldalát. Rendezés után kapjuk a

$$v_f \cdot v'_g(v_f - v_g) > 0 \quad (20)$$

egyenlőtlenséget. Ez a (17) és (19) miatt igaz, amivel állításunkat igazoltuk. Hasonlóan bizonyítható a  $v_f < V_0$  egyenlőtlenség is.

Vizsgáljuk most meg a (11)-ben megadott  $B$  mennyiség előjelét. Ezt nyilván a számláló előjele szabja meg; amelyre (18) és (19) miatt fennáll, hogy

$$v'_f \cdot v_g - v_f \cdot v'_g > 0; \quad (21)$$

ezért  $B$  pozitív:

$$B > 0. \quad (22)$$

A (10) és (22) összefüggések felhasználásával következtetni tudunk a gőz térfogatának változására, a hőmérséklet igen kis  $\Delta t$  növekedése esetén, ha a rendszer össztérfogata változatlan. Három esetet különböztetünk meg:

a) A  $V$  a  $v_f$  és  $V_1$  érték közé esik

$$v_f < V < V_0, \quad (23)$$

azaz (8) szerint

$$\Delta V < 0. \quad (24)$$

Ekkor (10), (22) és (24) miatt

$$[W'_g(t)]_{V=\text{konst.}} < 0. \quad (25)$$

Tehát kis  $\Delta t$  hőmérsékletemelkedés esetén a gőz térfogata csökken, a folyadék térfogata pedig nő.

b) A  $V$  megegyezik  $V_1$ -el, tehát

$$\Delta V = 0. \quad (26)$$

A (10) és (26) miatt

$$[W'_g(t)]_{V=V_0} = 0, \quad (27)$$

vagyis a hőmérséklet  $\Delta t$  növekedésekor a gőz  $W_g$  térfogata jó közelítéssel állandó marad.

c) Végül  $V$  a  $V_1$  és  $v_g$  térfogat közé esik:

$$1V > 0. \quad (28)$$

Ekkor

$$[W_g''(t)]_{V=\text{konst.}} > 0, \quad (29)$$

ami azt jelenti, hogy kis mértékű melegítés esetén a gőz  $W_g$  térfogata nő, a folyadék térfogat csökken.

Látható, hogy a (10) formula és a (22) egyenlőtlenség számot ad arról, hogy miképpen változik a folyadék-gőz rendszer egyes alkotóinak térfogata kis mértékű melegítésnél.

#### IV. $V_0$ , $r_0$ és $r_k$ függése a hőmérséklettől néhány anyagnál

Az elmondottakból kitűnik, hogy a gőztérfogat viselkedése szempontjából döntő fontosságú az, hogy a vizsgált  $V$  izochor hol helyezkedik el a  $V_0$ -al jellemzett izochorhoz viszonyítva. Felvetődik az a kérdés, milyen viszonyban van  $V_0$  a kritikus fajtérfogattal, és mit mondhatunk a gőztérfogat változásáról nagyobb mértékű hőmérsékletváltozás esetén. Továbbá kérdéses az, hogy vajon a  $V_0(t)$  függvény rendelkezik-e olyan sajátossággal, mely az anyagok nagyobb csoportjára általánosan jellemző, vagy anyagonként teljesen egyedi lefutást mutat. Összefüggésbe hozható-e a  $V_0(t)$  függvény a (14) alatti  $r_k$  és a (15) alatti  $r_0$  térfogatarányok hőmérsékletfüggésével?

Ezekre a kérdésekre kerestünk választ, amikor néhány anyagra meghatároztuk  $V_0$ -t,  $r_0$ -t és  $r_k$ -t a hőmérséklet függvényében. A vizsgálat céljára úgy választottuk ki az anyagokat, hogy azok kritikus hőmérséklet értékei széles hőmérséklettartományt fogjanak át és a kiszemelt anyagok kémiai sajátosságai tekintetében is lényegesen különbözzenek. Ezzel az eljárással próbáltuk megállapítani  $V_0$ ,  $r_0$  és  $r_k$  néhány, általánosabban érvényes tulajdonságát.

A vizsgált anyagokat kritikus hőmérsékletük értéke szempontjából a következő három csoportba sorolhatjuk:

a) *Hidrogén, nitrogén, oxigén*; ezek kritikus hőmérséklete kisebb, mint  $-100^\circ\text{C}$ .

b) *Széndioxid, klór, etiléter*; kritikus hőmérsékletük a  $0 \div +200^\circ\text{C}$  tartományba esik.

c) *Víz, higany*. Kritikus hőmérsékletük a  $200-1500^\circ\text{C}$  intervallumban található.

A  $V_0(t)$ ,  $r_0(t)$  és  $r_k(t)$  függvények meghatározása oly módon történt, hogy a  $v_f(t)$ ,  $v_g(t)$ ,  $v_f'(t)$  és  $v_g'(t)$  mennyiségek tapasztalati értékét a (14)-be, illetve a (7)-ből és (15)-ből kapott közelítő formulákba helyettesítettük ( $Q = 1$  gs).

Az említett összefüggéseket úgy nyerjük, hogy a (7)-be és (15)-be a  $dv_f/dt$  és  $dv_g/dt$  differenciálhányadosok helyébe az ezekkel közelítőleg egyenlő  $\Delta v_f/\Delta t$  és  $\Delta v_g/\Delta t$  differenciahányadosokat írjuk. A (7)-ből

$$V_0(t_2) \approx \frac{v_g^2(t_2) \Delta v_f - v_f^2(t_2) \Delta v_g}{v_g(t_2) \Delta v_f - v_f(t_2) \Delta v_g} \quad (30)$$

A (15) szerint

$$r_0(t_2) \approx - \frac{v_g^2(t_2) \Delta v_f}{v_f^2(t_2) \Delta v_g}, \quad (31)$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} \Delta v_f &= v_f(t_2) - v_f(t_1) \\ \Delta v_g &= v_g(t_2) - v_g(t_1) \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

és

$$t_2 > t_1. \quad (33)$$

A  $\Delta t = t_2 - t_1$  hőmérséklet különbséget lehetőség szerint kicsinyre választottuk.

Megemlítjük, hogy a számításhoz felhasznált adatokat hidrogénre, nitrogénre, oxigénre [4]-ből; széndioxidra, klórra, etiléterre [5]-ből; vízre [6]-ból és higanyra [1]-ből vettük. A számolást a Magyar Optikai Művek Zuse Z 23 típusú elektronikus számítógépén végeztük. A számítások eredményét az I—VIII. táblázatok tartalmazzák.

I. táblázat

Anyag:  $H_2$

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$  | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|--------|-------|
| —258,27             | 198,42                         | 14,725 | 1,469 |
| —256,75             | 196,12                         | 14,800 | 1,433 |
| —253,24             | 97,21                          | 6,689  | 1,350 |
| —249,89             | 74,428                         | 4,984  | 1,276 |
| —245,73             | 48,336                         | 2,735  | 1,184 |
| —243,03             | 45,527                         | 2,874  | 1,138 |
| —240,57             | 37,804                         | 2,310  | 1,029 |

II. táblázat

Anyag: N<sub>2</sub>

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$ | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|
| —208,36             | 93,45                          | 86,60 | 1,778 |
| —195,09             | 22,62                          | 19,38 | 1,612 |
| —182,51             | 9,808                          | 7,441 | 1,465 |
| —173,73             | 7,769                          | 5,686 | 1,355 |
| —161,20             | 4,868                          | 2,963 | 1,228 |
| —153,65             | 4,288                          | 2,598 | 1,150 |
| —148,08             | 3,714                          | 2,341 | 1,085 |

III. táblázat

Anyag: O<sub>2</sub>

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$ | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|
| —182,0              | 33,97                          | 45,33 | 1,674 |
| —154,5              | 5,570                          | 5,646 | 1,395 |
| —140,2              | 3,856                          | 3,438 | 1,272 |
| —129,9              | 3,164                          | 2,510 | 1,169 |
| —123,3              | 2,621                          | 1,652 | 1,089 |
| —120,4              | 2,721                          | 2,422 | 1,084 |

IV. táblázat

Anyag: CO<sub>2</sub>

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$ | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|
| —30                 | 3,931                          | 3,771 | 1,430 |
| —26                 | 3,510                          | 3,185 | 1,407 |
| —22                 | 3,203                          | 2,759 | 1,386 |
| —18                 | 3,238                          | 2,814 | 1,364 |
| —14                 | 3,066                          | 2,572 | 1,341 |
| —10                 | 3,067                          | 2,581 | 1,319 |
| —6                  | 2,899                          | 2,332 | 1,294 |
| —2                  | 2,773                          | 2,141 | 1,268 |
| 0                   | 2,812                          | 2,205 | 1,257 |
| +2                  | 2,727                          | 2,073 | 1,244 |
| 6                   | 2,669                          | 1,987 | 1,219 |
| 10                  | 2,457                          | 1,647 | 1,192 |
| 14                  | 2,543                          | 1,805 | 1,169 |
| 18                  | 2,408                          | 1,576 | 1,138 |
| 22                  | 2,324                          | 1,428 | 1,108 |
| 26                  | 2,307                          | 1,429 | 1,079 |
| 30                  | 2,342                          | 1,827 | 1,024 |

## V. táblázat

Anyag:  $\text{Cl}_2$ 

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$ | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|
| 0                   | 4,858                          | 6,498 | 1,583 |
| 10                  | 5,565                          | 7,758 | 1,557 |
| 20                  | 4,351                          | 5,686 | 1,517 |
| 30                  | 4,017                          | 5,152 | 1,481 |
| 40                  | 3,528                          | 4,328 | 1,442 |
| 50                  | 3,265                          | 3,894 | 1,405 |
| 60                  | 2,846                          | 3,067 | 1,337 |
| 70                  | 2,772                          | 3,067 | 1,337 |
| 80                  | 2,488                          | 2,564 | 1,299 |
| 90                  | 2,445                          | 2,520 | 1,266 |
| 100                 | 2,299                          | 2,255 | 1,226 |
| 110                 | 2,133                          | 1,936 | 1,188 |
| 120                 | 2,143                          | 2,038 | 1,158 |
| 130                 | 2,159                          | 2,227 | 1,102 |
| 140                 | 1,916                          | 1,951 | 1,054 |

## VII. táblázat

Anyag:  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ 

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$  | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|--------|-------|
| 34,6                | 20,561                         | 14,240 | 1,672 |
| 40                  | 19,451                         | 13,381 | 1,650 |
| 50                  | 13,183                         | 8,485  | 1,608 |
| 60                  | 12,339                         | 7,873  | 1,577 |
| 70                  | 10,584                         | 6,530  | 1,541 |
| 80                  | 10,094                         | 6,183  | 1,505 |
| 90                  | 8,349                          | 4,811  | 1,463 |
| 100                 | 7,761                          | 4,372  | 1,427 |
| 110                 | 7,166                          | 3,918  | 1,388 |
| 120                 | 6,445                          | 3,348  | 1,346 |
| 130                 | 5,916                          | 2,933  | 1,307 |
| 140                 | 5,370                          | 2,499  | 1,268 |
| 150                 | 5,026                          | 2,223  | 1,234 |
| 160                 | 4,877                          | 2,131  | 1,201 |
| 170                 | 4,787                          | 2,113  | 1,160 |
| 180                 | 4,331                          | 1,669  | 1,103 |
| 185                 | 4,236                          | 1,593  | 1,067 |
| 190                 | 4,479                          | 2,335  | 1,033 |

## VI. táblázat

Anyag:  $H_2O$ 

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V$ ,<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_o$   | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|---------|-------|
| 0                   | 72,980                         | 71,998  | 2,090 |
| 10                  | 239,213                        | 238,654 | 2,089 |
| 20                  | 277,189                        | 277,018 | 2,085 |
| 30                  | 237,950                        | 237,625 | 2,077 |
| 40                  | 220,629                        | 220,497 | 2,068 |
| 50                  | 139,021                        | 137,952 | 2,054 |
| 60                  | 109,330                        | 108,031 | 2,039 |
| 70                  | 81,557                         | 80,033  | 2,022 |
| 80                  | 65,915                         | 64,301  | 2,005 |
| 90                  | 52,403                         | 50,713  | 1,985 |
| 100                 | 41,213                         | 39,467  | 1,965 |
| 110                 | 34,481                         | 32,724  | 1,944 |
| 120                 | 28,701                         | 26,936  | 1,921 |
| 130                 | 24,377                         | 22,614  | 1,897 |
| 140                 | 20,550                         | 18,790  | 1,873 |
| 150                 | 17,528                         | 15,776  | 1,848 |
| 160                 | 15,297                         | 13,556  | 1,822 |
| 170                 | 13,397                         | 11,666  | 1,796 |
| 180                 | 11,733                         | 10,030  | 1,770 |
| 190                 | 10,674                         | 8,962   | 1,741 |
| 200                 | 9,601                          | 7,898   | 1,713 |
| 210                 | 8,747                          | 7,051   | 1,685 |
| 220                 | 7,948                          | 6,257   | 1,656 |
| 230                 | 7,326                          | 5,639   | 1,627 |
| 240                 | 6,726                          | 5,040   | 1,597 |
| 250                 | 6,274                          | 4,590   | 1,566 |
| 260                 | 5,856                          | 4,171   | 1,535 |
| 270                 | 5,477                          | 3,789   | 1,503 |
| 280                 | 5,160                          | 3,468   | 1,470 |
| 290                 | 4,704                          | 2,994   | 1,435 |
| 300                 | 4,661                          | 2,957   | 1,402 |
| 310                 | 4,403                          | 2,689   | 1,366 |
| 320                 | 4,213                          | 2,490   | 1,327 |
| 330                 | 4,001                          | 2,258   | 1,284 |
| 340                 | 3,783                          | 2,015   | 1,241 |
| 350                 | 4,016                          | 2,476   | 1,217 |
| 360                 | 3,542                          | 1,777   | 1,138 |
| 370                 | 3,490                          | 1,959   | 1,050 |
| 374                 | 3,126                          | 1,172   | 0,946 |



## VIII. táblázat

Anyag: Hg

| Hőmérséklet<br>[°C] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $r_0$  | $r_k$ |
|---------------------|--------------------------------|--------|-------|
| 134,6               | 358,170                        | 4769,1 | 1,653 |
| 151,2               | 371,039                        | 4947,9 | 1,646 |
| 168,9               | 161,837                        | 2146,1 | 1,635 |
| 186,6               | 771,764                        | 947,3  | 1,628 |
| 207,5               | 37,525                         | 492,9  | 1,618 |
| 221,5               | 34,989                         | 459,6  | 1,611 |
| 241,0               | 18,866                         | 246,0  | 1,601 |
| 256,7               | 9,138                          | 118,1  | 1,594 |
| 268,0               | 17,753                         | 231,8  | 1,591 |
| 277,3               | 8,085                          | 104,1  | 1,584 |
| 294,4               | 13,179                         | 171,7  | 1,578 |
| 318,8               | 4,216                          | 53,50  | 1,565 |
| 335,9               | 2,909                          | 36,47  | 1,557 |
| 349,2               | 4,100                          | 52,02  | 1,552 |
| 365,8               | 2,278                          | 28,23  | 1,543 |
| 381,9               | 2,219                          | 27,47  | 1,537 |
| 395,8               | 2,188                          | 27,08  | 1,531 |
| 407,4               | 1,146                          | 13,58  | 1,525 |
| 417,0               | 2,701                          | 27,30  | 1,522 |
| 432,8               | 1,012                          | 11,84  | 1,513 |
| 451,0               | 3,573                          | 46,15  | 1,507 |
| 466,8               | 1,004                          | 11,73  | 1,499 |
| 485,1               | 0,582                          | 6,304  | 1,491 |
| 506,3               | 0,668                          | 7,407  | 1,483 |
| 532,3               | 0,618                          | 6,763  | 1,473 |
| 559,8               | 0,515                          | 5,445  | 1,464 |
| 582,4               | 0,566                          | 6,097  | 1,458 |
| 606,5               | 0,566                          | 5,963  | 1,450 |
| 627,1               | 0,437                          | 4,436  | 1,441 |
| 645,0               | 0,319                          | 2,934  | 1,436 |
| 661,8               | 0,437                          | 4,447  | 1,433 |
| 677,0               | 0,321                          | 2,947  | 1,427 |

# V. A táblázatokból levont következtetések

## 1. A $v_k$ kritikus fajtérfogat közelítése $V_0$ -val

Megvizsgálva az I—VIII. táblázatot, leszűrhetünk néhány érdekes következtetést. Mindenekelőtt, ha a  $t$  hőmérséklet közeledik a kritikus  $t_k$  hőfokhoz, akkor matematikai okok miatt  $V_0$ -nak közelednie kell a  $v_k$  kritikus fajtérfogathoz. Ugyanis  $t \rightarrow t_k$  esetén  $v_f(t) \rightarrow v_k$  és  $v_g(t) \rightarrow v_k$ . Ebből és a (16)-ból következik, hogy ha  $t \rightarrow t_k$ , akkor  $V_0 \rightarrow v_k$ -hoz. Tehát egy bizonyos  $(t_0, t_k)$  hőmérséklet-intervallumban  $V_0$ -t a kritikus fajtérfogat közelítésének lehet tekinteni.

Gyakorlati szempontból felmerül azonban az a kérdés, hogy mekkora az a  $(t_0, t_k)$  hőmérséklet-tartomány, amelyen belül  $V_0$  nem túlságosan tér el  $v_k$ -től. Az I—VIII. táblázatokból kitűnik, hogy  $V_0$  és  $v_k$  a legjobb esetben is csak egy jegy pontosságig egyezik meg. A IX. táblázatban összefoglaltuk a vizsgált anyagokhoz tartozó kritikus jellemzőket ( $p_k, v_k, t_k$ ) és összehasonlításul feltüntettünk egy-egy önkényesen választott  $t_0$ -nak megfelelő  $V_0(t_0)$ -t, és a hozzá tartozó  $p_0(t_0)$  nyomásértéket.

IX. táblázat

| Anyag                            | $v_k$<br>[cm <sup>3</sup> /g] | $V_0(t_0)$<br>[cm <sup>3</sup> /g] | $t_k$<br>[°C] | $t_0$<br>[°C] | $p_k$<br>[kp/cm <sup>2</sup> ] | $p_0$<br>[kp/cm <sup>2</sup> ] |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|
| H <sub>2</sub>                   | 32,24                         | 45,53                              | −239,91       | −243,03       | 12,80                          | 8,47                           |
| N <sub>2</sub>                   | 3,216                         | 4,288                              | −147,13       | −153,65       | 33,5                           | 24,19                          |
| O <sub>2</sub>                   | 2,326                         | 2,620                              | −118,82       | −123,3        | 49,7                           | 41,99                          |
| CO <sub>2</sub>                  | 2,155                         | 2,773                              | + 31,1        | − 2,0         | 73,0                           | 32,59                          |
| Cl <sub>2</sub>                  | 1,745                         | 2,133                              | +144,0        | +110,0        | 76,1                           | 44,4                           |
| H <sub>2</sub> O                 | 3,09                          | 3,835                              | +374,15       | +335,0        | 225,65                         | 139,85                         |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O | 3,809                         | 4,331                              | +193,8        | +180,0        | 35,5                           | 28,81                          |
| Hg                               | 0,2                           | 0,319                              | +1460         | +645,0        | 1640,0                         | 35,0                           |

A IX. táblázathból is látszik, hogy hidrogénnél, nitrogénnél és oxigénnél elég kicsiny az a  $(t_0, t_k)$  intervallum, amelyben  $V_0$  számottevően megközelíti  $v_k$ -t. A többi anyagnál  $(t_0, t_k)$  már nagyobb. Így például a széndioxidnál a  $t_k - t_0 = 33,1$  °C hosszúságú hőmérséklet tartományban  $V_0$  és  $v_k$  eltérése általában kisebb, mint  $V_0(t_0) - v_k = 0,618$  ami  $v_k$ -nak 29%-a.

A rendelkezésre álló adatokból arra lehet következtetni, hogy higanynál elég gyorsan közeledik  $V_0$  a  $v_k$ -hoz. Az [1]-ben szereplő táblázat 118,5 °C-tól 690,9 °C-ig terjedő tartományban tartalmazza  $v_f(t)$  és  $v_g(t)$  értékét higanyra. Az ebben az intervallumban kiszámított  $V_0(t)$  görbe tendenciája arra mutat, hogy a  $t_k - t_0 = 1460 - 645 = 815$  °C hosszúságú intervallumban  $v_k$  és  $V_0$  eltérése 0,119 cm<sup>3</sup>/g körül mozog, ami  $v_k$ -nak kb. 60%-a. Ez az eltérés természetesen jelentős, azonban figyelembe kell venni, hogy a higany kritikus fajtérfogatára vonatkozó irodalmi adatok is tekintélyes szórást mutatnak. Így pl.

a [7]-ben felsorolt kritikus fajtérfogat értékek átlaga  $\bar{v}_k = 0,2406 \text{ cm}^3/\text{g}$ , a közepes eltérés pedig  $\Delta v_k = 0,03435 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Tehát a relatív eltérés  $\Delta v_k/\bar{v}_k \sim 14\%$ .

Megjegyezzük, hogy a  $v_f(t)$  és  $v_g(t)$  függvények ismeretében — fizikai megfontolások nélkül is — igen sokféle olyan kifejezést képezhetünk, amelyek a kritikus fajtérfogathoz konvergálnak, ha a hőmérséklet a kritikus hőmérséklethez közeledik. Ilyen kifejezés lehet pl.  $v_f(t)$  és  $v_g(t)$  számtani vagy mértani közepe. Ha az I–VIII. táblázatokban szereplő anyagoknál kiszámítjuk a  $1/2[v_f(t) + v_g(t)]$ , ill.  $\sqrt{v_f(t) \cdot v_g(t)}$  középértékeket és összehasonlítjuk ezeket a megfelelő  $V_0(t)$  értékekkel, azt kapjuk, hogy a vizsgált anyagok mindegyikénél fennáll a  $V_0(t) < 1/2[v_f(t) + v_g(t)]$  egyenlőtlenség. Ezen kívül a széndioxidnál a  $-26 - +26^\circ\text{C}$ , klórnál a  $+10 - +110^\circ\text{C}$ , az etiléternél a  $+40 - +180^\circ\text{C}$ , a higanynál pedig a  $+256,7 - +677,0^\circ\text{C}$  hőmérséklettartományban érvényes, hogy  $V_0(t) < \sqrt{v_f(t) \cdot v_g(t)}$ . Viszont az V. 3. szakaszban látni fogjuk, hogy a vizsgált anyagoknál  $v_k < V_0(t)$ . Ez azt jelenti, hogy  $V_0(t)$ -t a fajtérfogatok számtani közepe és  $v_k$  közrefogja, tehát  $V_0(t)$  a szóbanforgó anyagok mindegyikénél  $1/2[v_f(t) + v_g(t)]$ -nél jobb közelítést ad  $v_k$ -ra. Az erősebb megszorítást jelentő mértani középhez ez csak a fentebb felsorolt anyagokra és hőmérséklet intervallumokra igaz.

Több olyan anyag van (pl. fém), amelynél a kritikus állapot igen nagy hőmérsékleten következik be és ezért a kritikus jellemzők meghatározása nehézségbe ütközik. Érdekes volna az ilyen anyagoknál  $V_0(t)$  menetét viszonylag kis hőmérsékleteken meghatározni, mert ebből a kritikus fajtérfogatra lehetne következtetni.

## 2. A Meissner—Redding-féle összefüggés

A  $v_k$  kritikus fajtérfogat becslésével kapcsolatban megemlítjük, hogy MEISSNER és REDDING a következő összefüggést vezették le  $v_k$  meghatározására [3]:

$$v_{ksz} = \frac{(0,377 \cdot P + 11,0)^{1,25}}{M} [\text{cm}^3/\text{g}], \quad (34)$$

ahol

$$P = \frac{M \cdot \gamma^{0,25}}{\rho_f \rho_g} \quad (35)$$

a (34)-ben és (35)-ben szereplő betűk jelentése a következő:

$v_{ksz}$  a kritikus fajtérfogat  $[\text{cm}^3/\text{g}]$ ;

$M$  a molekulasúly;

$\gamma$  a felületi feszültség  $[\text{dyn}/\text{cm}]$ ;

$\rho_f$  a folyadékfázis sűrűsége  $[\text{g}/\text{cm}^3]$ ;

$\rho_g$  a gőzfázis sűrűsége  $[\text{g}/\text{cm}^3]$ .

Több (pl.  $n$ ) komponensből álló vegyület esetén  $P$  értékét az egyes atomokra és atomcsoportokra vonatkozó  $P_i$  mennyiségek összege adja:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (36)$$

$P_i$  értékét néhány anyagra a X. táblázat tartalmazza [2].

X. táblázat

| Atom | $P_i$ |
|------|-------|
| H    | 17,1  |
| N    | 12,5  |
| O    | 20,0  |
| Cl   | 54,3  |

A (34)—(36) képletek és a X. táblázat adatai alapján kiszámítottuk  $v_{ks}$  értékét a X. táblázatban szereplő négy anyagra. A számítás eredményét a XI. táblázatban foglaltuk össze, amelyben feltüntettük a IX. táblázatban található  $V_0(t_0)$  és  $t_0$  értékeket is.

XI. táblázat

| Anyag           | $v_{kss}$<br>[cm <sup>3</sup> /g] | $v_k$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $V_0$<br>[cm <sup>3</sup> /gs] | $t_0$<br>[°C] |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| H <sub>2</sub>  | 26,45                             | 32,24                          | 45,53                          | −243,03       |
| N <sub>2</sub>  | 1,555                             | 3,216                          | 4,288                          | −153,65       |
| O <sub>2</sub>  | 1,835                             | 2,326                          | 2,620                          | −123,3        |
| Cl <sub>2</sub> | 1,929                             | 1,745                          | 2,133                          | +110,0        |

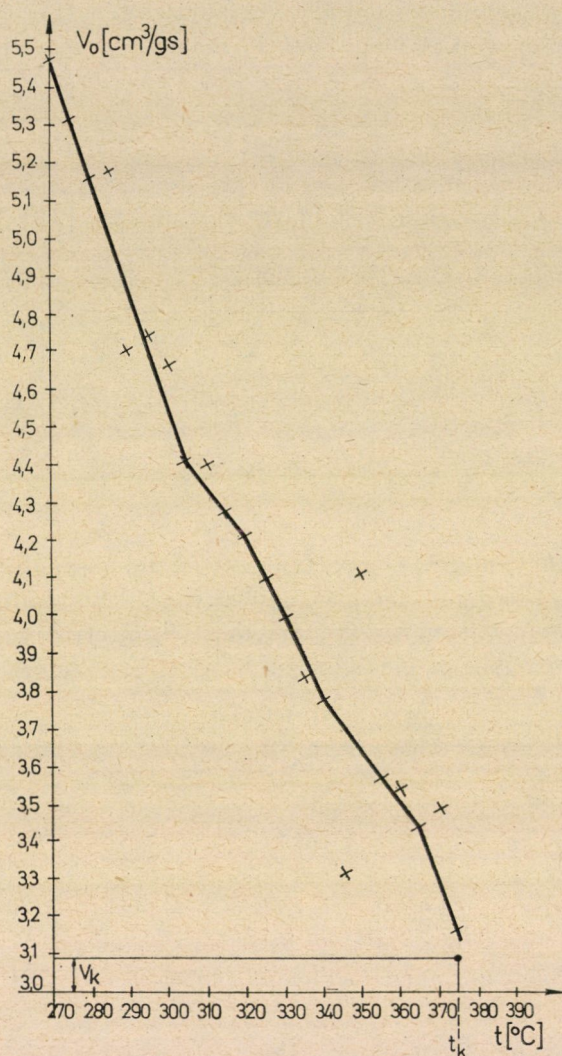
Látható, hogy hidrogén és klór esetén  $v_{ks}$ , nitrogén és oxigén esetén pedig  $V_0(t_0)$  közelíti meg jobban  $v_k$ -t.

### 3. A gőzfázis térfogatának változása izochor állapotváltozásnál

Az I—VIII. táblázatokat vizsgálva szembeötlük a  $V_0(t)$  függvénynek az a tulajdonsága, hogy a vizsgált anyagok mindegyikénél  $V_0(t)$  minden hőmérsékleten nagyobb mint a kritikus fajtérfogat. Jól látható ez a 2. ábrán is, ahol a víz-hőz tartozó  $V_0(t)$  függvényt ábrázoltuk a kritikus hőmérséklet közelében. A továbbiakban látni fogjuk, hogy  $V_0(t)$  ezen egyszerű sajátságának érdekes következményei vannak.

Adott  $[t; V_0(t)]$  értékpárhoz a  $pV$  diagram  $t$  hőmérséklettel jellemzett izotermáján a  $p_0(t)$  nyomás tartozik. Igen szemléletes képet kapunk a gőztér-



2. ábra. A  $V_0(t)$  függvény görbéje víz esetében

fogat viselkedéséről, ha a  $pV$  diagramba berajzoljuk a  $[p_0(t); V_0(t)]$  pontokból álló görbét. A 3. ábra víz esetére mutatja a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbe lefutását.

Az előbb említett

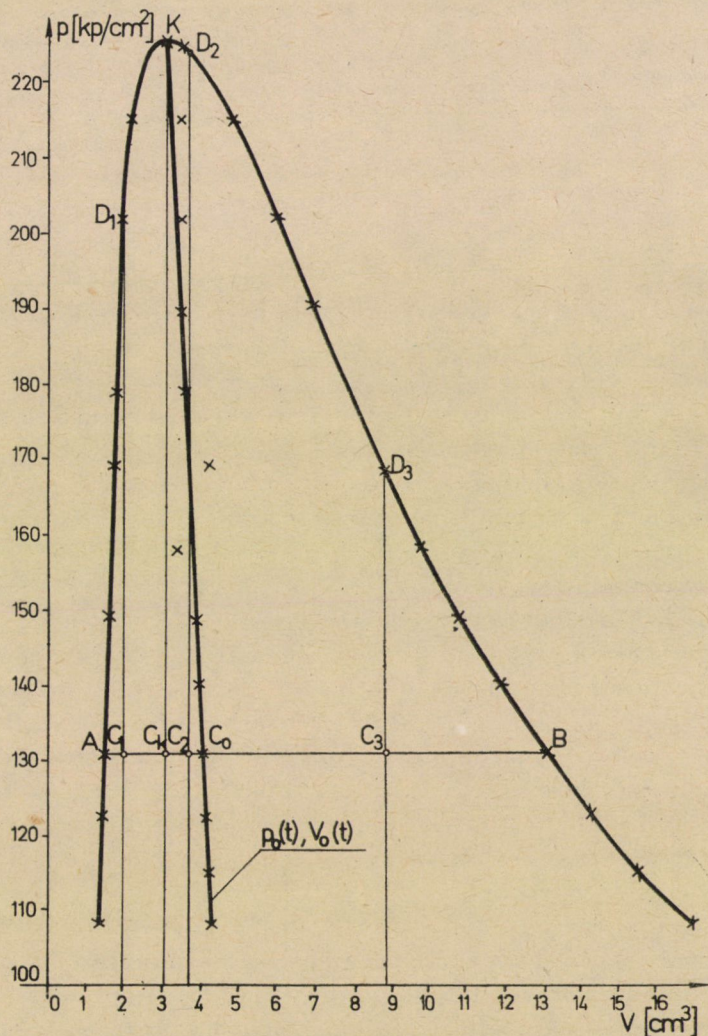
$$V_0(t) > v_k \quad (37)$$

tulajdonság azt jelenti, hogy a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbe teljes egészében a  $C_kK$  kritikus izochor (3. ábra) jobb oldalára esik. Ebből következik, hogy melegítés hatására a gőztérfogot a következő háromféle módon változhat:



a) Ha a  $V = \text{konst.}$  izochor a  $C_k K$  kritikus izochortól balra esik (3. ábra;  $C_1 D_1$  izochor), akkor a (10), (22) és (37) összefüggésekből folyólag  $W'_g(t) < 0$  minden hőmérsékleten. Tehát izochor melegítéskor a gőzfázis térfogata csökken.

b) Ha a  $V = \text{konst.}$  izochor a  $C_k K$  egyenes és a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbe közé esik (3. ábra;  $C_2 D_2$  izochor), akkor izochor melegítésnél  $W'_g(t) < 0$  mindaddig, amíg a  $C_2 D_2$  izochor a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbét át nem metszi. A metszéspontban  $W'_g(t_0) = 0$ , majd  $t_0$ -nál nagyobb hőmérsékleteknél  $W'_g(t) > 0$ . Tehát a melegítés folyamán a gőztérfogat először csökken, majd növekszik.



3. ábra. A  $[p_0(t), V_0(t)]$  izochor fordulópont-görbe a víz  $pV$  diagramján, ha  $Q = 1 \text{ gs}$



c) Ha a  $V = \text{konst.}$  egyenes a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbétől jobbra esik (3. ábra;  $C_3 D_3$  izochor), akkor  $W_g(t) > 0$ , vagyis a melegítés folyamán a gőz térfogata monoton növekszik.

Az elmondottak szerint a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbe választóvonal szerepét játssza a gőztérfogat változása szempontjából, pontjait ezért „izochor fordulópontnak” nevezhetjük.

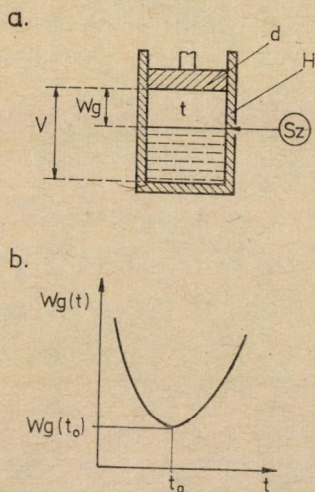
A bevezetőben már említettük a gőztérfogat „hőmérőszerű” és „Perkins-cső-szerű” viselkedését: az előbbi az a), az utóbbi a c) pontban leírtaknak felel meg. A folyadék-gőz rendszernek b) pontban ismertetett viselkedése eléggé meglepő. Ugyanis, ha egy olyan „hőmérőt” készítünk, amely a  $C_2 D_2$  izochor mentén működik, akkor e hőmérőt melegítve azt tapasztaljuk, hogy *egy bizonyos hőfokig a folyadékszál hossza növekszik* (mint a szokásos hőmérőknél), *e hőfokon a szál nyúlása megáll, tovább melegítve a hőmérőt a szál hossza csökkenni kezd.*

Úgy véljük, hogy az előbbi figyelemre méltó jelenséget érdemes volna kísérletileg részletesen megvizsgálni. A 4a. ábra egy olyan készülék elvi vázlatát mutatja, mellyel ezeket a vizsgálatokat el lehetne végezni. A  $H$  hengeres edénybe zárt folyadék-gőz rendszer össztérfogatát a  $d$  dugattyúval a  $C_k C_0$  intervallumban (3. ábra) eső értékre állítjuk be. A gőzfázis  $W_g(t)$  térfogatát az  $S_z$  folyadékszintmérő segítségével mérjük. A méréshez a folyadékszint helyzetének folyamatos meghatározása szükséges; a sok lehetséges mérőmódszer közül [8] a radioaktív sugárzást használó vagy a kapacitív szintjelző módszer látszik a legalkalmasabbnak.

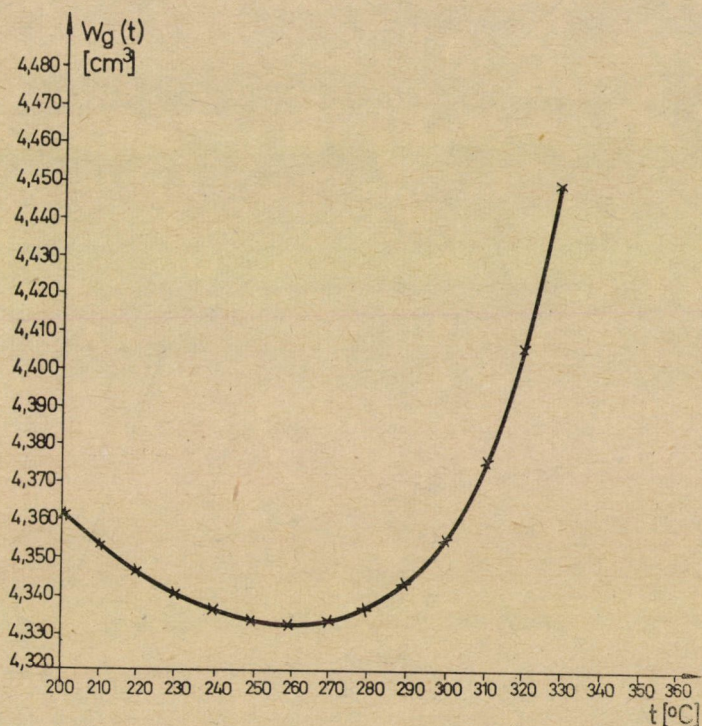
Ha a rendszer  $t$  hőmérsékletét emeljük, a  $W_g(t)$  gőztérfogat először csökken, minimumot ér el, majd növekszik (4b. ábra). A minimumhoz tartozó  $t_0$  hőmérsékleten  $V = V_0(t_0)$ . Ily módon ezen vizsgálatok kapcsán  $V_0$  értékét közvetlenül is meg lehetne határozni.

Ha a kritikus fajtérfogat értékét nem ismerjük (pl. éppen ezt akarjuk megbecsülni), akkor a  $C_k$  pont helyzete ismeretlen. Így a  $C_k$  pontot a mérőkészülék beállításánál nem vehetjük figyelembe. Ezért a mérőberendezés kiindulási helyzetét (a  $V$  össztérfogatot és a rendszer hőmérsékletét) számítással kell meghatározni. Úgy járhatunk el, hogy a (7) formula segítségével kiszámítjuk a kiindulási hőmérséklethez tartozó  $V_1$  értéket. A rendszer térfogatát és hőmérsékletét a számított értékre állítjuk be, majd ellenőrzésképpen méréssel is meghatározzuk  $t_0$ -t. Az alaphelyzetből kiindulva kimérhetjük az összetartozó  $[t_0; V_1]$  és  $V_0$  értékeket.

Az 5. ábra egy vízre vonatkozó  $W_g(t)$  görbét mutat ( $t_0 = 270^\circ\text{C}$ ,  $V_0 = 5,477 \text{ cm}^3/\text{gs}$ ), amelyet a (4) felhasználásával számítottunk ki. Látható, hogy a minimum környezetében a görbe eléggé lapos ( $10^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletváltozás hatására a gőz térfogata néhány  $\text{mm}^3$ -t változik). Ez kedvezőtlen a minimumhoz tartozó  $t_0$  meghatározása szempontjából, mert bizonytalanságot



4. ábra. A  $V_0(t)$  mérése ( $H$  hengeres edény,  $d$  dugattyú,  $Sz$  folyadékszint-mérő)



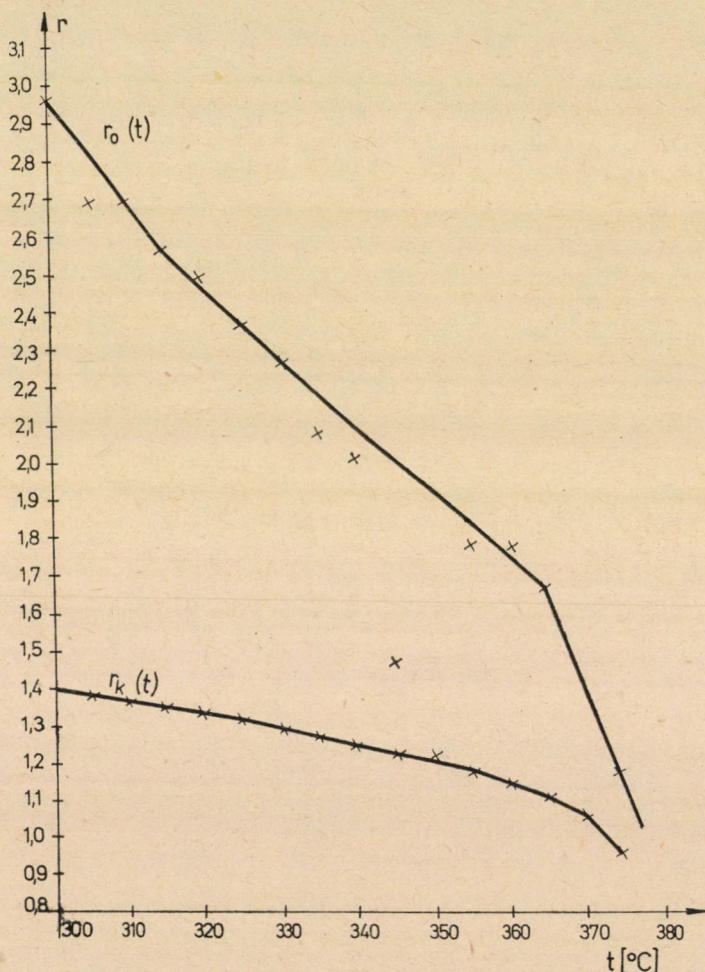
5. ábra. Víz izochor gőztérfogat-hőmérséklet függvénye, ha  $V_0 = 5,477 \text{ cm}^3/\text{gs}$  és  $t_0 = 270 \text{ °C}$



visz  $t_0$ -nak a  $W_g(t)$  görbéről leolvasott értékébe. Ha  $t_0$  értékét az 5. ábráról olvassuk le, akkor  $t_0 = 265 \pm 5$  °C-ot kapunk. Valószínű, hogy ez a pontosság felülmúlható megfelelő mérőberendezés alkalmazásával. Például a gőz, ill. folyadék kis térfogatváltozása is jól mérhető, ha a rendszert hőmérő-formájú (egy nagyobb tartályból kinyúló kapilláris) edénybe zárjuk.

#### 4. Az $r_0(t)$ és $r_k(t)$ függvények két sajátága

Az 6. ábra a víz-gőz rendszerre vonatkozó  $r_0(t)$  és  $r_k(t)$  függvények menétét mutatja. Látható, hogy a térfogatarány-hőmérséklet függvények görbéire jellemző, hogy



6. ábra. Az  $r_0(t)$  és  $r_k(t)$  függvények víz esetében

a kritikus izochorhoz tartozó  $r_k(t)$  térfogatarány a hőmérséklet növekedésével monoton csökken;

az egyenlő hőmérsékletre tartozó  $r_k(t)$  és  $r_0(t)$  térfogatarányok közül mindig az  $r_0(t)$  a nagyobb:

$$r_k(t) < r_0(t). \quad (38)$$

Ez a két tulajdonság nemcsak a víznél található meg, hanem az I—VIII. táblázatokban szereplő összes anyagra jellemző. A következőkben megmutatjuk, hogy a fenti sajátságok egyszerűen következnek a  $V_0(t) > v_k$  összefüggésből.

Az első tulajdonság következik abból, hogy a (37) miatt a  $C_k K$  kritikus izochor minden pontjában  $W'_g(t) < 0$ . Ez azt jelenti, hogy melegítéskor a gőz térfogata csökken, de ekkor (2) miatt a folyadék  $W_f$  térfogata növekszik, így a  $(W_g/W_f)_{V=v_k}$  arány csökken.

Írjuk a második sajátságot kifejező (38) összefüggést a (13) és (14) alapján a következő alakban ( $Q = 1$  gs):

$$\frac{v_g(v_k - v_f)}{v_f(v_g - v_k)} < \frac{v_g(V_0 - v_f)}{v_f(v_g - V_0)}, \quad (39)$$

amelyet átrendezve azt kapjuk, hogy

$$v_f(V_0 - v_k) < v_g(V_0 - v_k). \quad (40)$$

Minthogy  $V_0 > v_k$  azért a (40) szerint

$$v_f < v_g. \quad (41)$$

A (41) egyenlőtlenség nyilvánvalóan igaz [ugyanis megegyezik a (17)-tel], ami állításunk bizonyítását jelenti.

Az, hogy  $r_0(t)$  és  $r_k(t)$  említett tulajdonságait vissza lehetett vezetni a  $V_0(t)$  viselkedésére, szintén arra mutat, hogy a  $V_0(t)$  mennyiség fontos szerepet játszik a folyadék-gőz rendszer izochor állapotváltozásának leírásában.

## VI. Összefoglalás

Abban az esetben, ha a folyadék-gőz rendszer állapota izochor mentén mozdul el, a gőztérfogat változása szempontjából döntő szerepet játszik az, hogy a vizsgált  $V$  izochor hol helyezkedik el a  $V_1(t)$  izochorhoz viszonyítva.  $V_1(t)$  értéke ismerve a rendszer összsúlyát, valamint a folyadék és gőz fajtérfogatát a (7) alatti formulából kiszámítható. Kimutattuk, hogy ha a hőmérséklet a kritikus hőmérsékletre közeledik, akkor a  $V_0(t)$  mennyiség a kritikus fajtérfogathoz közelít.  $V_0(t)$  e tulajdonságát fel lehet használni arra, hogy a kritikus fajtérfogat értékét megbecsüljük, ha annak közvetlen meg-

határozása nehézségekbe ütközik. Jól áttekinthető képet kapunk arról, hogy a folyadék-gőz rendszer a  $pV$  diagram, mely tartományaiban mutat „hőmérő-szerű”, ill. „Perkinscső-szerű viselkedést, ha e diagramba berajzoljuk a  $[p_0(t); V_0(t)]$  „izochor fordulópontokat”. Ezen túlmenően a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbe szemléletessé teszi azt a megállapítást, hogy a kritikus izochor ( $V_k$ ) és a  $[p_0(t); V_0(t)]$  görbe között elhelyezkedő izochor esetén a gőztérfogat változása a  $V$ . 3. szakaszban leírt anomális viselkedést mutatja.

\*

A szerzők köszönetüket fejezik ki DR. BERNOLÁK KÁLMÁNNAK (Magyar Optikai Művek), DR. FORGÓ LÁSZLÓNAK (Energiagazdálkodási Intézet), DR. SZABOLCS GÁBORNAK (Villamos-energiapari Kutató Intézet) és HÓDI ENDRENEK (Magyar Optikai Művek) a téma iránti érdeklődésükért és értékes észrevételeikért.

### IRODALOM

1. RAŽNJEVIĆ, K.: Hőtechnikai táblázatok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (Technička Knjiga, Zagreb 1964).
2. HÁLA, E.—PICK, J.—FRIED, V.—VILIM, O.: Gőz-folyadék egyensúlyok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1965.
3. MEISSNER, H. P.—REDDING, E. P.: *Ind. Eng. Chem.* **34** (1942), 521.
4. *National Research Council of the USA: International Critical Tables of Numerical Data Physics, Chemistry and Technology: vol. III.* McGraw-Hill Book Co. Inc., New York—London 1928.
5. HODGMANN, Ch. D.: *Handbook Chemistry and Physics.* The Chemical Rubber Co., Cleveland (Ohio, USA) 1937.
6. KUZOVLEJ, V. A.: Műszaki hőtan (VUKALOVICS, M. P. táblázataival). Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1962.
7. GMELINS: *Handbuch der anorganischen Chemie — Quecksilber: Lieferung 1, System Nummer 34 (339. o.).* Verlag Chemie G. m. b. H., Weinheim-Bergstrasse 1960.
8. GRAVE, H. F.: Nem-villamos mennyiségek villamos mérése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968.

**On the Liquid-Vapour System's Isochoric Change of State.** In the course of the isochoric change of state of the liquid-vapour system the volume of the vapour and that of the liquid depend on the temperature. If the state of the system plotted on the pressure-volume ( $p, V$ ) diagram is near-by to the critical isochore, then it encounters difficulty to decide whether the vapour's volume-temperature function has increasing or decreasing character. Method is described which makes possible to determine the foregoing character of the vapour's volume-temperature function both in states are close to the critical isochore, and in states are far from the critical isochore. Formula is given, which allows an estimation of the critical specific volume if the temperature dependence of the vapour's and liquid's specific volume is known. The behaviour in course of the isochoric change of state of some materials having low, medium and high critical temperature is examined. The results show that the course of the vapour's volume-temperature function is anomalous near the critical isochore.

**Isochore Zustandsänderung eines Systems aus Flüssigkeit und Dampf.** Wenn man die isochore Zustandsänderung eines Flüssigkeit-Dampf-Systems betrachtet, so sind die Volumenkomponenten dieser zwei Phasen je eine Funktion der jeweiligen Temperatur. Handelt es sich — im ( $p, V$ ) Druck-Volumen Diagramm — um eine Stelle in der Nähe der kritischen Isochore, so ist es ziemlich problematisch, ob die aktuelle Dampf-volumen-Temperatur Kurvenstrecke sich im ansteigenden oder im absteigenden Ast befindet. Es wird eine Methode beschrieben, mittels welcher diese Frage unfehlbar entschieden werden kann, sei es in der Nähe der kritischen Isochore oder an einer fernerer Stelle. Die angeführte Formel ist geeignet, in Kenntnis der Abhängigkeit der spezifischen Dampf- und Flüssigkeitsvolumina von der Temperatur, den kritischen Wert des spezifischen Volumens zu bestimmen. Es wurden einige Stoffe mit niedriger, mittlerer und höherer kritischen Temperatur bezüglich des Verhaltens während einer isochoren Zustandsänderung untersucht: auf Grund der Versuche konnte festgestellt werden, daß der Verlauf der Dampf-volumen-Temperatur-Funktion in der Nähe der kritischen Isochore anomal ist.



# TUDOMÁNYOS HELYZETKÉP A GŐZTURBINÁK TERÜLETÉRŐL\*

## AZ ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI GÉPEK AKADEMIAI BIZOTTSÁG MEGBÍZÁSÁBÓL

SZÁDAY REZSŐ\*\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1969. február 12-én]

A gőzturbina továbbfejlesztésére irányuló kutatómunka területén egyre inkább előtérbe kerül a gazdaságosság kérdése. Ennek a témakörnek alapvető gondolata a beruházási költségek csökkentése, a hatásfok javítása, az üzembiztonság fokozása, valamint a kezelési és karbantartási költségek csökkentése. Ebben az értelemben keresik a kutatók és a konstruktőrök a megoldást a következő részletkérdésekre: nagyobb teljesítőképességű egységek kialakítása, adott egység alkalmazása nagyobb értékű paraméterekre, nagyobb turbinahatásfok elérése, a konkrét szilárdsági problémák újra-vizsgálata, a szerkezeti anyagok továbbfejlesztése, az automatizálás széles körű alkalmazása, a biztonsági berendezések sokoldalú kihasználása. Az áramlástechnikai problémák kutatása kiterjed az összes alkatrészsze, ahol áramlás folyik. Különös figyelmet fordítanak az egyes szerkezeti elemek szilárdságával és a rezgési jelenségekkel kapcsolatos problémákra, úgyszintén napirenden van az automatikus indítás feladatának megoldása is. Ezeken túlmenően a kutatók kizárólag a már megvalósított konstrukciók felülvizsgálatával foglalkoznak. A hazai kutató tevékenység természetesen csak szerény lehet az iparilag fejlett államokban folyó kutatásokhoz képest. Ennek ellenére kutatóink abban a helyzetben vannak, hogy a népgazdaság igényeit minden vonatkozásban kielégítsék.

### I. A követelmények felmérése

A gőzturbinák tárgykörében ma folyó tudományos munkát és annak a gőzturbina-gyártó, valamint erőművi iparban játszott szerepét elsősorban az szabja meg, hogy a világ energiagazdálkodása milyen követelményeket támaszt az üzemben levő, de még inkább az újonnan beépítendő gőzturbinákkal szemben. Ezt vizsgálva meg kell állapítanunk, hogy a gőzturbina nyolcvanöt éves történetének már első két évtizedében túljutott a pusztta megvalósulás stádiumán; századunk elején már a legkülönbözőbb célokat szolgáló gőzturbinákat lehetett kifogástalan minőségben készíteni. Hogy a gőzturbina ennek ellenére ma is jelentős tudományos érdeklődésre tart számot, ennek oka az, hogy

az energiatermelés a világ gazdálkodásában egyre nagyobb szerepet játszik;

az energiatermelés ez idő szerint csak hőerőgépek beépítésével fokozható jelentősen;

\* A tudományos helyzetképet megvitatta az *Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Akadémiai Bizottság* 1968. október 14-i ülésén. Opponensek voltak: DR. LÉVAI ANDRÁS levelező tag és ZETNER TAMÁS, a műszaki tudományok kandidátusa. A közlemény az opponensi vélemények és a bizottsági ülésen elhangzott vita figyelembevételével készült.

\*\* Láng Gépgyár, Váci út 152. Budapest XIII..

a víz/gőz közegnek jelentős előnyei miatt elsősorban a gőzturbina alkalmas nagy teljesítményekhez;

a víz/gőz körfolyamatnak és így a gőzturbináknak a következőkben részletezett szempontok szerinti továbbfejlesztéséhez igen jelentős gazdasági érdek fűződik.

Belátható ideig nem várható változás abban, hogy a világ energiaszükségletének több mint 80%-át (akár kazánból, akár atomreaktorból származó gőzzel hajtott) gőzturbinákkal fedezzük.

A gőzturbinának *megvalósult*, de egyre nagyobb gazdasági érdekekkel terhelt volta a hozzá kapcsolódó gazdaságosság fokozására irányítja a kutatók figyelmét. Ennek egyes tényezői a következők:

a) *A beruházás gazdaságossága.* Ez megköveteli az egységteljesítmények növelését, mert nagyobb egység fajlagos beruházási költsége kisebb. E követelménynek a villamos energiaelosztás kiterjedésével alig vannak korlátai, illetve korlátokat ma már a gőzturbina *lehetőségei* szabnak. Megköveteli a nagyon bonyolult és drága szerkezetek kerülését is, de csak addig, amíg az nem megy az üzembiztonságnak és az üzem gazdaságosságának a rovására.

b) *A hatásfok javítása.* Megköveteli, hogy a gőzturbina *jó termikus hatásfokú körfolyamatba* legyen beépíthető. Ez napjainkban nem csupán azt jelenti, hogy a víz/gőz közegben kívánunk egyre nagyobb frissgőz nyomást és hőmérsékletet, újrahevítést, előmelegítést stb. alkalmazni, hanem jelenti azt is, hogy a víz/gőz közeggel dolgozó, vagyis legszorosabb értelemben vett gőzturbinának esetleg a közeg körfolyamata fölé vagy alá kapcsolt más közegű körfolyamathoz kell alkalmazkodnia. Követelmény továbbra is a turbina (belső) hatásfokának javítása. Közepes gépteljesítmények és az expanzió közepének tartományában a jelentős múltú kutatási tevékenység már csaknem elérte a lehetőség határait; a lényegében konfúzor-alakú csatornák amúgy sem támasztanak olyan követelményeket az áramlástan kutatással szemben, mint a nyomásfokozó áramlástan gépek diffúzor-csatornái. További indítékot ad azonban a kutatásra az igen nagy nyomások adta igen kis gőztérfogatok és a nagy teljesítményű gépek kisnyomású részein adódó igen nagy gőztérfogatok feldolgozása, valamint az egyéb járulékos belső veszteségek csökkentése.

c) *Üzembiztonság és rendelkezésre állás* napjainkban nagyobb hatással van a gazdaságosságra, mint a múltban volt vagy a jövőben lesz. Korszerű, jó hatásfokú blokkok beruházási költsége nagy, ezért a hideg tartalék tartása egyre érzékenyebben érinti a gazdaságosságot; az előtérbe került blokküzemben a gőzturbina üzemképtelensége az egész blokkot kiejti; a nagyobb egységteljesítményű turbina kiesése a rendszert érzékenyebben sújthatja — mindezek fokozzák az üzembiztonság jelentőségét a múlttal szemben. Ezzel párhuzamosan az utóbbi két évtizedben az erőművek hatásfoka annyira megnőtt, hogy igen nagy különbség van az esetleg kiesett új és a helyébe lépni kényszerülő régi blokk hatásfoka között, ami fokozza a váratlan kiesés gazda-

sági hátrányait. Ez a hatás sem a múltban nem volt, sem a jövőben nem lesz olyan erős, mint napjainkban. Jellemző mai követelmény tehát: az üzembiztonság ésszerűen csak józan költségráfordítással, vagyis inkább megbízható szerkezeti elemekkel, mint a biztonsági berendezések túlhajtása útján fokozható.

*Az üzembiztonság követelményei a következők:*

Szilárdságilag megbízható anyagok és szerkezetek;  
nyugodt járás és az alkatrészek rezgésmentessége;  
váratlan külső behatásokra, átmeneti üzemállapotokra érzéketlen szerkezetek;

a korszerű nagy gőzturbinák igényeit követő szabályozó, ellenőrző, jelző és biztonsági berendezések;

automatizálás a gyakori indulások gazdaságosságának fokozására, vagy a hosszú tartósult üzemidő alatt gyakorlatát vesztő kezelőszemélyzet hibáinak elkerülésére.

*d) Változó üzem és a kezelés gazdaságossága.* Ennek egyes tényezőit röviden a következőkben foglalhatjuk össze:

Indulás és megállás időtartama, munkaerő- és üzemanyag igénye mennél kisebb legyen; ez a hőállapotok és feszültségek gondos vizsgálatát, valamint az automatizálás fokozását követeli meg.

A teherváltozások sebességének és nagyságának a turbina mennél kevésbé szabjon határt; ez a hőállapotok és feszültségek kutatását és ez alapon a hőelasztikus szerkezetek megvalósítását követeli meg.

A turbina engedje meg a túlterhelést részben a körfolyamatba való beavatkozás (pl. nyomásnövelés, előmelegítő lezárás), részben szerkezeti kialakítás (pl. megkerülőszelepek), esetleg a kettő kombinációja (pl. tároló) útján.

A kezelőszemélyzet csökkentésének feltétele az üzembiztonság, a távvezérlés és az automatizálás.

A követelményeknek e rövid felmérése azt bizonyítja, hogy a gőzturbinákhoz kapcsolódó tudományos munka iránti igény igen sokoldalú. Bár a gőzturbina áramlástanai gép, mai fejlettségében az áramlástanai kérdések távolból sem uralkodók, és ezek mellett egyenként is legalább ugyanolyan súllyal esnek latba a hőtani, mechanikai, metallurgiai, villamosságtani és irányítástechnikai, sőt a technológiai kérdések is. Ezeken túlmenően azt is megállapíthatjuk, hogy éppen az említett tudományágak határterületein folyik legélénkebben az elvi tudományos munkának a gőzturbinákra alkalmazott formája; sőt jelentős tudományos munka folyik az egyes említett tudományágak szempontjából támasztott követelmények közötti kompromisszum megtalálására is. Utóbbira jellemző példa az utolsó lapátsorok kialakítása az áramlástanai (háromdimenziós áramlás, legyező alakú rács, vízcseppek), hőtani (expanzió és hőmérséklet

alakulása, víz kiválása), szilárdságtani (centrifugális igénybevétel), lengéstani (hajlító és csavaró önlengések, ezek lehetséges gerjesztése), valamint metallurgiai és technológiai lehetőségek figyelembevételével.

Külön említést érdemel még az a követelmény, hogy a gőzturbinának nem csupán a külön megtervezett hőtani körfolyamatba kell jól beleilleszkednie, hanem az erőművi blokk többi részeihez, továbbá a blokk irányítóberendezéséhez is jól kell csatlakoznia. Mindezek a csatlakozások számos érdekes határterületet adnak (teljesítményszabályozás, blokkszabályozás, a blokk ellenőrzése, önműködő indítása, előmelegítőberendezések automatikái stb.), amelyek mindegyike jelentős tudományos és gyakorlati tevékenység tárgya. Ezek a témák, valamint az összetett körfolyamatok azonban kívül esnek a szoros értelemben vett turbinák tárgykörén és a turbinákkal szemben tudományos jellegű igényt nem támasztanak; ismertetésüket ezért mellőzzük. Hasonlóan mellőzni kívánjuk a tisztán gyakorlati tevékenységek továbbfejlődését (pl. forgórészek pörgetési próbái és egyensúlyozása, szerelési egységek próbája, anyagvizsgálatok stb.), amelyek bár a turbinák minőségének javítását szolgálják és előfeltételei a tudományos eredmények hasznosításának, nem tartoznak a tudományos helyzetképhez.

A következőkben tehát a szoros értelemben vett gőzturbina tárgykörében is igen sokrétű tudományos tevékenységet kívánjuk röviden felmérni. E sokrétűség feloldására tudományáganként adjuk elő azokat a kérdéseket, amelyekre a tudományos tevékenység napjainkban irányul.

## II. Világhelyzet a tudományos tevékenységben

### 1. Áramlástani kérdések

Az áramlástani kérdések közül továbbra is a *lapátozat* kérdései a legérdekesebbek. Ezek vizsgálatának első megközelítése a *síkbeli áramlással körülvett egyedülálló, párhuzamos és végtelen kiterjedésű gyorsító lapátrács* vizsgálata. Jellemző e téren az, hogy az Euler-turbinaegyenleten és sebességábrán alapuló mechanikai szellemű tárgyalásmód ma már csak a jelenségek alapvető magyarázatára használatos; a gyakorlati munka és tudományos kutatás az áramlástani-energetikai szemléleten alapul. Mint ismeretes, ennek alapjait gőzturbinák terén BÁNKI vetette meg; egyik legutóbbi összefoglalását TRAUPEL könyve adja. Ez a profilrács veszteségtényezőjét adja meg a megfújási szög függvényében; a gőzturbina szerkesztője részére pedig olyan segédletet ad, amely ezt az áramlástani kutatási eredményt felhasználja. A kutatási eredmény: jó hatásfokú profilok sorozata különböző be- és kilépő szögekkel és a hozzájuk tartozó osztással; minden profilhoz (rácshoz) a veszteségtényező a megfújási szög függvényében. Ezt a tárgyalásmódot teljessé teszi a Reynolds-szám, a Mach-szám, a profil-érdesség, az oldalfalak, a kötöző- és csillapító-huzalok, a

rácsok közötti átlépés, a lapátvég-leélezés és hasonló járulékos hatások figyelembevétele. E téren a kutatás csaknem lezárt; csupán a nagyon nagy eltérések (akciós futólapát) és nagy Mach-számok (szabályozó fokozat, utolsó futólapát vége) terén adódik még tevékenység.

*Jelentős tevékenység folyik* azonban a tárgyalásmód továbbfejlesztése terén, mégpedig a következő irányokban:

A *sorba kapcsolt* lapátrácsok vizsgálata, miközben optimálisnak azt a rács típust tekintjük, amely a következő rács beömlése szempontjából is kedvező (ez is jórészt lezárt téma);

A *legyezős* lapátrácsok vizsgálata egyre finomabb részletekbe menően: a síkbeli áramlás az álló rács egyes helyein, a forgó rácson és teljes fokozatcsoporton térbeli áramlás, a radiális nyomásgradiens figyelembevétele, a hatásfok változása a lapát hossza mentén, ugyanezek vizsgálata szilárdsági okból kúposan elvékonyított lapátokkal;

a *lapátprofilok* elcsavarása áramlás és hatásfok vizsgálata az elcsavart lapát hossza mentén;

a *vízcseppek* áramlási viszonyai;

a különleges fokozatok — így a szabályozó fokozati fúvókák, terelőlapátok és futólapátok — vizsgálata. (Curtis-fokozatok áramlási viszonyai alig felderítettek, ezek iránti érdeklődés azonban csökken.)

Ezekből látható, hogy a lapát-profilrácsok terén immár olyan részletek figyelembevételéről van szó, hogy az előirányzott finomságú eredmények már jórészt csak a tényleges szerkezetű és méretű turbinafokozatok vizsgálata útján remélhetők. Ezért a gyárak egyre inkább arra is kénytelenek berendezkedni, hogy modell-kísérleteken és kísérleti fokozatok vizsgálatán túlmenően a tényleges, üzemi turbinán végezzenek méréseket sebesség- és nyomásmérő szondák, valamint fényképezés segítségével. A körülmények részletei is annyira különlegesek, hogy azok az általános áramlástechnikus érdeklődési körétől elszakadva a nagy turbínagyárak és az üzemtartó kezelésébe, eredményei pedig féltve őrzött tulajdonába kerülnek. Kiváló példája ennek a munkának az a — vízcseppeknek az utolsó fokozaton való áramlását végigkísérő — film, amelyet 1958. március havában idehaza is bemutattunk.

Az áramlástan tevékenység a lapátozat viszonyainak tisztázása után egyre nagyobb súllyal a *turbina egyéb átáramló részei* felé fordul azzal a törekvéssel, hogy azok ellenállását csökkentse. Fontosabb témák, amelyekkel a kutatók foglalkoznak, a következők:

A gőzsűrű ellenállásának vizsgálata (legkedvezőbb kialakítás szilárdságilag és áramlástanilag);

főgőzszelep és háza (kompromisszum a szilárdság, hőrugalmasság és áramlási ellenállás szempontjai között);

a szabályozószelep és háza (mint a főgőzszelep, de figyelembe kell venni a gőzforgalom kedvező befolyásolásának szempontjait is);



az áramlás vizsgálata a fokozatcsoportok közötti terekben, házak be-, ill. kiömlésében és az átömlővezetékben, legfőképpen azonban az áramlás vizsgálata a nagy kondenzációs gőzturbinák kiömlő részeiben (legkedvezőbb kialakítás megállapítása a méretek és az ellenállás csökkentésére), továbbá a labirintek kutatása (a labirintrés és valóságos labirint áteresztésének meghatározása az üzemi szempontból is kedvező konstrukciók mellett).

Az itt felsorolt vizsgálatok jórészt egy-egy gyár konstrukciós szokványait vizsgálják felül a tökéletesítés érdekében. Eredményeik azonban a konstrukciók hasonlóná válására vezetnek, mert egy-egy kivétel fölénye lassan behizonyosodik és közkinccsé válik. Így vált közismertté a diffúzor szelep és annak méretezési szabálya; így válik általánossá az áramlásnak radiálisba fordítása nagy kiömlőrészekben; így nyertek alkalmazást az egyes házak beömlő — ill. kiömlő — részeiben azok a tapasztalatok, amelyeket az áramlástanilag sokkal igényesebb gázturbinákban szereztek.

*Mindent összevetve* a turbinák áramlástanai részeinek kutatása immár a végső finomságok figyelembevételére és azok hatásának megállapítására törekszik. Az eredmény kettős: egyrészt létrehoz olyan elemeket és megállapít olyan szerkesztési szabályokat, amelyek adott körülmények között a lehető legkisebb veszteségeket és legjobb hatásfokot eredményezik, másrészt módot ad a veszteségek és hatásfokok pontos előzetes kalkulálására. A turbinák hatásfok-számítása igyekszik mindeme részleteket lehető teljességgel figyelembe venni. Ez azt is jelenti, hogy a kalkulációs munka terjedelme egyre nő; ezért a nagy konkurenciának kitett nagy turbinagyárak elektronikus számítógépekkel dolgoznak. E téren élen járó turbinagyárak hatásfok-előkalkulációjának pontossága 0,5%-ra tudja a tényleges értéket megközelíteni.

## 2. A szerkezeti elemek igénybevétele és deformációja

Ez a kérdés két okból képezi jelentős terjedelmű tudományos tevékenység tárgyát:

a) A nagy nyomásnak és hőmérsékletnek kitett elemek konstrukciója közismerten kompromisszumot képez a nagy nyomást kiálló és a gyors hőmérséklet-változásoknak, valamint nagy hőmérsékletkülönbségeknek ellenálló rugalmas konstrukció között. Igen nagy érdek tehát a nyomás, illetve a centrifugális erőhatás adta feszültségek pontos ismerete annak érdekében, hogy az anyagok teherbírását jól kihasználva lehetőleg *vékony* falú szerkezeteket kapjunk. Nagy érdek azonban a tartós üzemben, valamint a változó viszonyok között (indulás, állás, teherváltozás) a hőmérsékleteloszlás és az ebből származó feszültségek, valamint deformációk pontos ismerete is. Bár e téren világszerte igen jelentős tudományos és gyakorlati tevékenység folyik, mérés technikája még jelentős fejlesztésre szorul.

A nagy kondenzációs turbinák kisnyomású részei, főleg pedig utolsó fokozatai 8—10 m<sup>2</sup>-es kilépő keresztmetszetükkel oly nagy erőhatásoknak vannak kitéve és lengéstanilag is olyan kényesek, hogy megvalósításuk csak az igénybevételek igen pontos kalkulációja alapján lehetséges.

A mechanikai igénybevételek (a nyomás és a centrifugális erő) pontos meghatározására — a jelentősen fejlett számítási módszereken túlmenően — általánossá vált a kismintákon vagy még inkább természetes nagyságú próbadarabokon, végül kész turbinarészekben nyúlásmérő bélyegek használata. Ezúton a feszültségek jól feltérképezhetők és így egyrészt a kívánatos konstrukciós változtatásokat, másrészt a szuperponálódó hőigénybevételek megengedett mértékét lehet megállapítani. Egyes esetekben a feszültségek elméleti és méréssel való megállapításán kívül kisminták vagy természetes nagyságú próbadarabok roncsolásig menő túlterhelése is szokás. Ilyenek az utolsó lapát-sorok gyökbefogása (állóhelyben, húzással) és a hegesztett kiömlőrészek (kismintán, nyomással összeroppantva) alkalmazása.

A hőigénybevételek megengedett mértékének elve (állandósult a kétrészes folyási határig, változó a lassú fáradás határáig) kidolgozott és ismert. A tényleges hőmérsékleteloszlás számítással való meghatározása azonban — a tetszetős módszerek ellenére — továbbra is bizonytalan, mert a gőzoldali hőátadási tényezőnek laboratóriumban mért, vagy hasonló alakokkal végzett kísérletekből hasonlósági törvényekkel megállapított értékei megbízhatatlanok. Ezért általános szokás

a hőmérsékleteloszlást mérni, ebből a hőátadásra következtetve a konstrukciós tanulságokat levonni;

a hőmérsékleteloszlást és deformációkat mérni, a számított hőterjeszkedés és a tényleges nyúlás különbségéből a feszültségekre következtetni;

a nem kívánatos deformációk csökkentésére a legközelebbi kivitelen az előző kivitelen szerzett konstrukciós tanulságokat levonni.

E szilárdságtani kérdések természetesen alig választhatók el a nagy nyomásra és hőmérsékletre igénybe vett *anyagok fejlődésének* kérdéseitől sem. Mintegy 15 évvel ezelőtt néhány — valójában inkább kísérletnek szánt — gőzturbinaberendezést készítettek igen nagy nyomásra és hőmérsékletre részben annak reményében, hogy az igen nagy hő-időszilárdságú ausztenites acélok a problémák végső megoldását nyújtják. A változó üzemmel kapcsolatos igények fokozódása azonban előtérbe helyezte azt a tényt, hogy a hőigénybevételekre a hővezetési tényezőnek, a fajsúlynak és a hőterjeszkedési együtthatónak is jelentős hatása van. E téren pedig az ausztenites anyag hátránya jelentős, mert az azonos alakú és méretű darab azonos hőmérsékletváltozási sebesség esetén deformációjában megakadályozva csaknem háromszor akkora feszültségnek van kitéve, mint a ferrit-perlites szerkezetű. Ezért könnyen lehetséges, hogy az ausztenites alkatrész még a nagyobb tartamszilárdsága által lehetővé tett kisebb falvastagsága mellett is — a hőmérsékletváltozások miatt — hát-

rányba kerül a perlit-ferrites szerkezetekkel szemben. A mai tendencia a ferrit-perlites anyagok hő-időszilárdságának fokozása a szennyeződések (főleg  $H_2$ ) teljes kizárása (vakuumöntés), valamint a tökéletes alakítási technológia és hőkezelés útján.

A szerkezeti anyagok tulajdonságainak és alkalmazási körének megismerése, valamint helyes értékelése természetesen visszahat az erőművek tervezésére is, és azok tárgykörébe tartozó tudományos munka tárgyát képezi. Az a hőtanilag helyes irányzat ugyanis, hogy a nyomást és a hőmérsékletet együtt fokozzuk, az újrahevítés általánossá válása folytán nem feltétlen követelmény többé. Nagy gőzturbinák esetében a frissgőz-nyomás növelése egy magában is jobb eredményt adhat, mint a gépészetileg nagyobb gondot okozó hőmérséklet-emelés.

A gőzturbinák tengelyének *lengéstan*i kérdései elvileg lezártak; a tudományos munka az ismert megoldások bevezetése és alkalmazása terén folyik. A közelmúltban még a turbina lengéstan vizsgálat az egymáshoz igen rugalmasan kapcsolt és így többnyire egymástól függetlennek tekinthető kéttámaszú tengelyrészek első hajlító önlengésszámának ellenőrzéséből állt. Napjaink nagy gőzturbináinál ez a tevékenység a következőkkel bővült:

A nagy teljesítményű turbinák tengelyrészeit — még a generátor tengelylyel is — mereven kell összekötni; így azonban a tengely számos önlengésalakkal bíró többtámaszú rendszert képez. A számítási ráfordítás nagysága miatt elektronikus számítógépet kell igénybevenni és az eredményt modell kísérettel kell ellenőrizni.

A többházás gőzturbinák mereven összekötött hosszú (pl. 61 m-es) tengelyét nemcsak hajlító, hanem csavaró lengésekre is ellenőrizni kell és immár szokás is.

A többtámaszú, súlyos és nagy támaszközü tengelyek hajlító önlengésszámai az üzemi fordulatszámot közrefogják. Ezért a kritikus fordulatszámot nagyon pontosan kell megállapítani, aminek érdekében figyelembe kell venni az olajfilm és a csapágyak rugalmasságát is.

A tengelylengések tárgykörében meg kell emlékeznünk egy legutóbb megállapított jelenségről, amely szerint a gőzáram gerjesztene túrhetetlen hajlító lengéseket a tengely önlengésszámától függetlenül is. Egy elméleti vizsgálati mód viszonyt állapít meg a tengelyrészeire ráadott teljesítmény és a kritikus fordulatszám között, amelyen felül az ilyen természetű lengések felépnek. A gyakorlati tapasztalatok bizonyos tengely-konstrukció esetén az elmélettel jól egyeznek; torzióra merev tengelyek esetében viszont annál kevésbé. Valószínű, hogy a gőzáram gerjesztő hatására hajlító- és csavarólengések egymásrahatásából származik a jelenség, amely ilyenképpen teljesen felderítetlen.

A lengéstan vizsgálatok jelentősebb része az *utolsó futólapátokra* — és kisebb mértékben a futótárcsákra is — irányul. Már régebben is szokás volt

a lehetséges gerjesztő lengésszámoknak, valamint azok néhányszorosának közelébe eső nyugalmi hajlító és csavaró önlengésszámot számítással, illetve kísérlettel meghatározni, a forgás hatásának figyelembevételére pedig a kapott lengésszámot számításból kapott ökölszabály segítségével megnövelni. Napjainkban egy-egy új típusú utolsó lapát több éves fejlesztő munka eredménye; eközben a számos változat mindegyikét mindenre kiterjedő számítással és forgás közbeni feszültség-, deformáció-, valamint önlengésszámméréssel ellenőrzik. (Jellemző az ez irányú számítási és kísérleti ráfordítás nagyságára, hogy egy nemrég megjelent referátum szerint számították, majd mérték egy csavart hosszú lapát végének szögelfordulását a centrifugális erő hatására; a számítás  $8^\circ$ , a mérés  $7^\circ$  elcsavarodást mutatott a végprofil nyugalmi állapotához képest.)

A lengéstani hatásokhoz természetesen nem csupán az önlengésszámok, hanem a lehetséges gerjesztő frekvenciák megállapítása is hozzátartozik. A fordulatszám, annak kétszerese (az osztósík miatt), valamint a fordulatszám és a vezetőlapátok számának szorzata kézenfekvő és régóta figyelembe vett gerjesztő frekvenciák. Minden lehetséges gerjesztő frekvencia figyelembevételére egyes kutatók a gázdinamikai gerjesztő impulzusokat is vizsgálják inercia-mentes szondákkal, gőzzel átáramlott, természetes nagyságú és működésű kísérleti fokozatokban.

Az eddig előadott témaköröket áttekintve azt állapíthatjuk meg, hogy a követelmények kiéleződése a számítási és kísérleti munka együttes alkalmazását igényli egy-egy fejlődési lépés megtételéhez. Ez a folyamat oda vezet, hogy sem a számos megközelítő feltétellel élő számítás, sem a valóságot tökéletesen soha sem tükröző kísérlet nem elegendő ahhoz, hogy a ma már horribilis értéket képviselő 1000 MW teljesítőképesség körüli blokk sorsát arra alapozzák. Az eljárás tehát az, hogy ha a jól egyező eredményű számítás és kísérlet alapján megvalósult alkatrész a gyakorlatban is beválik, úgy a számítási és kísérleti módszer igényt tarthat olyan hitelességre, hogy azok eredményére támaszkodva újabb és nagyobb követelményeknek eleget tevő alkatrészt valósítsanak meg újabb és nagyobb gőzturbinákhoz.

### 3. Mérés és irányítástechnika

A gőzturbinákhoz kapcsolódó mérési és irányítástechnikai feladatok a következőképpen csoportosíthatók:

*Szabályozási feladatok*, amelyek megoldásával a turbinához csatlakozó folyamat jellemzőit azok mérése alapján állandó értéken tartják;

*biztonsági feladatok*, amelyek megoldásával a turbinára veszélyes üzemi állapot elérését megakadályozzák, ill. veszélyes állapot fellépésekor a turbinát üzemen kívül helyezik;

*üzemellenőrzés célját szolgáló mérés és adatfeldolgozás;*  
*önműködő indítás.*

Az első három feladatcsoport a gőzturbinák műszaki fejlettségének mindenkorin fokán meg volt oldva; az irányítástechnikai berendezések megfelelték a turbinák kívánalmainak. A gőzparaméterek emelkedésével, a teljesítőképességek növekedésével és a berendezések bonyolultabbá válásával azonban a követelmények nőtték, a feladatok sokasodtak. A gépegységek értékének növekedésével és a kezelőszemélyzet megtakarítására irányuló törekvéssel végül előtérbe lépett az automatikus indítás iránti igény is.

a) *A szabályozási feladatok* megoldása területén a gépészetben a gőzturbinatechnika vette először igénybe a szabályozásmélet eredményeit. A fordulatszám-szabályozás stabilitásának kritériumait, a teherledobáshoz fűződő követelményeket már a múlt század végére kidolgozták; e feladatok megoldását pedig hamarosan követte a nyomásszabályozások és többszörös szabályozások gyakorlati megoldása és elméleti kivizsgálása is. Ezzel az elsődleges szabályozási igényeknek a tudomány évtizedekre eleget tett.

A gőzturbináknak az 1940-es években megindult rohamos fejlődése a következő további igényekkel lépett fel a szabályozástechnikával szemben:

A kooperációs villamos hálózatok bővülése a szabályozás érzékenységének fokozását követeli meg. A legutóbbi két évtized fejlesztési tevékenysége ezért nagy mértékben a súrlódástól és így érzéketlenségtől mentes szerkezetek megvalósítására irányult. A fejlesztés eredménye az, hogy 0,7 ezelék alatti érzéketlenség (a 25 évvel ezelőtti 0,5 százalék helyett) ma már általánosnak tekinthető. A gépnagyságok fokozódásával azonban a turbina szabályozó-berendezésében egyre nagyobb teljesítményerősítésre van szükség, ami hidraulikus elemekben az érzéketlenségnek fokozódó forrása lehet. A legújabb irányzat ezért a villamos szabályozók kifejlesztése. Ezek a szabályozott jellemzőket villamos úton mérik; minden jelátalakítás is villamos, tehát minden érzéketlenségtől mentes. Csupán a beavatkozó szerv hidraulikus, mert csak hidraulika képes a szabályozó szelepek helyzetét igen nagy erőhatások ellenében pontosan tartani és igen nagy sebességgel beavatkozni. Az ilyen értelemben vett villamos szabályozás a vezető turbinagyárakban legalábbis kifejlesztés alatt áll.

Az újrahevítés különleges szabályozást követel meg. Ennek elméleti és gyakorlati alapjai immár jól kiforrottak.

A gépméretök növekedése és — újrahevítéses, valamint többszörös szabályozásban — a több helyen való érzékelés és beavatkozás igénye a hidraulikus szabályozók csővezetékrendszerét igen kiterjedtté tette. Ezzel fellépett a csővezetékek rugalmasságának, a csővekben levő folyadékoszlop tehetetlenségének és súrlódásának figyelembevételére irányuló igény is. A tudományos tevékenység e kérdések megoldására is irányul, de a fellépő nehézségek ebből a szempontból is a villamos szabályozók előtérbe lépését indokolják.

A tudományos kutatás és fejlesztés módszerei között egyre inkább helyet kap a kísérleti munka. Ez nem csupán az egyes elemek kísérleti kipróbálásából



és szabályozás-dinamikai tulajdonságainak kivizsgálásából áll, hanem előtérbe lép a teljes szabályozások modellezése és analóg berendezésekkel való szimulálása is. Főleg a bonyolultabb többszörös szabályozások vizsgálatában alkalmaznak szimulátorokat, mert ezek megbízhatóbb eredményeket ígérnek, mint a számos egyszerűsítő feltétellel élő matematikai kezelés.

Változatlan, sőt egyre fokozódó tevékenység tárgyát képezi a megvalósított teljes turbinaberendezések szabályozásának vizsgálata. Ez a turbina szabályozás viselkedésének átmeneti állapotokban való meghatározását célozva a szabályozás egyes jellemzőinek (olajnyomások, gőznyomások, szelepemelkedések, fordulatszám) időbeli lefolyását adja erős zavarások (főleg teherledobás) esetén.

A turbinaszabályozás részletmegoldásaival szemben egyéb követelmények is felmerülnek (automatikus indítás lehetőségébe bekapcsolódás, blokk-szabályozásban és teljesítményszabályozásban való részvétel stb.) ezek azonban tudományos munkával szemben igényt nem a szoros értelemben vett gőzturbina tárgykörben támasztanak.

b) *A biztonsági berendezések fogalomköre* az utóbbi másfél évtizedben igen jelentősen megnőtt, és átnyúlik a mérő és üzemellenőrző berendezések fogalomkörébe. Mintegy két évtizeddel ezelőtt a „veszélyes üzemállapot” fogalmán főleg csak a túl nagy fordulatszámot és gőznyomást (beleértve a kondenzátornyomást is), ezen felül legfeljebb a csapágyhőmérsékletet és a tengely axiális helyzetét értették. A gőzparaméterek és gépnagyságok növekedésével és az indításokkal, megállásokkal, teherváltozásokkal szembeni igények fokozódásával azonban más paraméterek ellenőrzése, sőt a biztonsági rendszerbe való bekapcsolása is előtérbe került. E szempontok miatt, valamint a kezelőszemélyzet megtakarítása érdekében ma önműködő berendezések védhetik meg a turbinát a következő állapotjelzők nem kívánatos értékével szemben is: a frissgőznyomás csökkenése; a ház és a tengely relatív hőterjeszkedése; a teherváltozási sebesség; a tengely-excentricitás; a csapágy-rezgés; a hőmérsékletkülönbség a ház egyes pontjai között, a hőmérsékletváltozási sebességek stb.

Erre többnyire villamos berendezések szolgálnak, amelyek fejlesztése nem a gőzturbinák tudományágába tartozik. Ide tartozik azonban a paraméterek megengedett értékének meghatározása és a mérőhelyek kijelölése, amiről a 2. szakaszban már szóltunk.

c) *Az üzemellenőrzési stb. feladatokra* lényegében ugyanazt állapíthatjuk meg, mint a biztonsági berendezésekre.

d) *Az indítás és az üzemvitel automatizálása* két elvi lehetőség irányában indult meg. Ez egyik irányzat az egész erőművet egy központi irányítóberendezés alá rendeli; ebben az irányban Amerikában történtek az első próbálkozások. E megoldás hibája, hogy meglevő erőműre utólag nem építhető, és hogy a központi irányítóberendezés hibája az egész erőművet üzemképtelenné teheti.

Ezért általánosabb irányzatnak tekinthető az a megoldás, hogy az erőmű egyes részeinek önálló szabályozási körei megmaradnak és a központi irányító berendezés ezeket a szabályozási köröket vezeti. A szoros értelemben vett gőzturbinatechnikát ilyen módon nem is maga az automatizálás, hanem a turbinaberendezések az automatikus indításra és üzemvitelre alkalmassá tétele érdekli. Ennek feltételei pedig a következők:

A beavatkozási helyek számának csökkentése és azok távvezérléssel való ellátása (pl. indítóberendezés és fordulatszámellátó egyesítése);

a szükséges önálló szabályozási körök kiépítése (fordulatszám, töm-szelencegőz, kondenzátor-vízállás, olajhőmérséklet);

a fordulatszám-szabályozás működési tartományának lefelé kiterjesztése az üzemi fordulatszám 7—10%-áig;

az említett biztonsági berendezések beépítése a változások ütemének korlátozására (pl. hőmérsékletkülönbség a házban korlátozza a fordulatszám-növelés ill. teherfelvétel sebességét).

E feladatok megoldása azonban nem a gőzturbinák körében igényel számottevő tudományos tevékenységet.

#### 4. A kondenzáció és segédberendezések

A kondenzációs berendezésnek tudományos kutatás útján való továbbfejlesztése változatlanul az érdeklődés előterében áll. Jó kondenzátor megvalósításának elvei, a hőátadási tényezők számértékei közismertek ugyan, a méretek növekedésével és az igények fokozódásával azonban egyre inkább igényel tudományos ismereteket és kísérleti munkát egy-egy új és nagyobb kondenzátortípus kifejlesztése.

A kondenzátorbeli folyamatok modellezésére villamos és hidraulikus úton egyaránt számos kísérlet történt. Ezek fő hiányossága, hogy csak síkbeli áramlásképet adnak. Mai áramlástan és hőátadási ismereteink birtokában az elméleti és gyakorlati tapasztalatok alapján ténylegesen megépített kondenzátor viszonyainak kimérése és a következtetések levonása a legfőbb módszere a ma folyó ez irányú tudományos tevékenységnek. Mélni is további kivitelekben helyes irányban befolyásolni kell:

A gőzáram sebességét és irányát a gőzoldali ellenállás csökkentése és a nem kondenzálódó gázok folyamatos eltávolítása érdekében;

az egyes csövek vízterhelését a helyes vízóldali kialakítás érdekében;

a víz melegedését az egyes csövekben, a helyi hőátadás megállapítása és a helyi levegőtartalomra való következtetés érdekében.

Mindhárom mérés technikája még jelentős fejlesztésre szorul. Az áramlás mérése a nagyon kis ( $0,03 \text{ kg/m}^3$  körüli) fajsúlyú nedves közegben és csőbeli áramlás mérése az ellenállás növelése nélkül igen nehéz feladat.

A hazai indítékból újra jelentőséget nyert keverőkondenzátorban a vízelosztás és a szórófejek legkedvezőbb alakja képezte legutóbb eredményes fejlesztéstárgyát. A többi feladatok hasonlóak mint a felületi kondenzátor esetében.

*A segédberendezések* — mint teljesen újszerű berendezések — területén külön említést érdemel a telített frissgőzzel dolgozó atomerőművi gőzturbinák cseppleválasztó és újrahevítő berendezése. A cseppleválasztó résszel szemben az a követelmény, hogy minél kisebb nyomásesés árán minél tökéletesebb cseppleválasztást érjen el. A kutatás a cél elérésére számos megoldási elvvel próbálkozott. Legkézenfekvőbbnek a ciklon elv alkalmazása látszott — az ehhez szükséges nagy gőzsebességek azonban eleve nagy nyomásesést okoznak. Egy másik elv, amellyel az egyik neves világcég sikertelenül foglalkozott, az, hogy a nedves gőzt szűk hullámos járatokban vezeti, ahol a cseppek a falra tapadva összetömrődnek és lefolynak. Itt a cseppleválasztás határfoka okozott csalódást. Leginkább eredményesnek látszik és leginkább terjed az a megoldás, hogy a gőzt néhány tized mm átmérőjű, nem rozsdásodó huzalból készült vastag laza szövedéken vezetik át. Az így keletkező mikroszkopikus örvények a legkisebb cseppeket olyan méretűre egyesítik, hogy azok irányeltérítés-adta tömegeroők, illetve nagyobb ülepedési sebességük folytán már ki tudnak válni.

A lecsapódó frissgőzzel fűtött túlhevítő résszel szemben támasztott követelmény hasonló: jó hőátadás létrehozása kis nyomásesés árán. Itt főleg az a probléma, hogy hogyan helyes a gőzoldali hőátadás szempontjából kívánatos finom (esetleg lamináris áramlást adó) bordázatot a gyakorlati követelményekkel összhangba hozni.

*A korszerű olajhűtő* csövei bordáztak vagy huzalozottak; a legnagyobb gőzturbinák légszivattyúi sugár- és mechanikus szivattyúk kombinációi. Ezek tökéletesítése többnyire szakosított vállalatok tevékenységének tárgya.

### 5. Új konstrukciós elgondolások

A tudományos helyzetképhez hozzátartozik — bár nem szorosan — néhány új konstrukciós elgondolás felmerülése és siker esetén esetleg általánossá válása. Ezek közül egyeseket példaként azért érdemes megemlítenünk, mert gyakran tudományos munka értékeléséből származó viszonylag egyszerű felismerések megvalósítását jelentik. Ilyenek pl. a következők:

A nagynyomású házak kettős héjú kivitele, vagy az állólapátózásnak lapáttartó betétekre építése általánossá vált. Az eredmény a feszültségek csökkentése, a hőmérsékleti hatásoknak a ház falától távol tartása és a deformációra kevésbé hajlamos ház-szerkezet.

A belső házhéjnak osztósíksavarok helyett zsugorodó abroncsokkal való összefogása. Az eredmény a lapáttartó rész kifogástalan kör alakja változó viszonyok esetén is.

A fúvóka-szegmensek helyett összefüggő gyűrű használata; ez a parcialitási veszteségeket kiküszöböli legnagyobb terhelésen.

A futótárcsáknak a tengelyhez radiális csapokkal való hozzáerősítése, amely a radiális hőterjeszkedést a központosság teljes fenntartása mellett lehetővé teszi.

A házak beömlésénél első fokozatként radiális centripetális fokozat alkalmazása, ami a beáramlás sebességi energiáját is felhasználja.

Az övezőlemez használata reakciós fokozatokhoz is, ami a kötőzöhzuzal szerepét betölti a veszteségek növelése nélkül, sőt a résvesztéseket is csökkenti.

A ház függetlenítése a lapáttartótól a kisnyomású részeken olyannyira, hogy a tömszelencét is a csapágýbak tartja és a ház a tömszelencéhez rugalmas elemmel csatlakozik. Az eredmény a tömszelence-hézag üzembiztos csökkentése.

Három olajékes csapágyszerkezet a nagy méretek esetén az olajfilm által okozható lengések kiküszöbölésére.

Érdeklődést keltő jellege következtében érdemes megemlíteni olyan irányzatot is, hogy a turbina tiszta fojtásos szabályozású legyen. Ekkor ugyanis az egyes fokozatokban a hőmérséklet a terheléssel alig változik és a gyors terhelésváltozás aggálytalan. Hőelasztikus szerkezeteket alkalmazó turbinagyárak azonban ezt a megoldást a kudarc elismerésének tartják és így általánosan aligha tekinthetjük fejlődési irányzatnak.

A felhozottak kiragadott példák; ezek sorát még igen messzemenően lehetne folytatni. Nagy részük a nagy paraméterekkel és méretekkel kapcsolatos új adottságok velejárói. Tény azonban, hogy a fokozott követelmények ki-elégítésére irányuló tudományos munka eredményeképpen létrehozott újszerű szerkezet visszahat a szerényebb követelményű (kisebb paraméterű és teljesítményű) gépek fejlődésére is és így az elmondott irányzatokat ezek fejlődésében is fel lehet ismerni.

### III. A hazai helyzet

A hazai gőzturbina tárgyú tudományos helyzetképet az jellemzi, hogy az a világszínvonaltól egyrészt az igények, másrészt a lehetőségek korlátozott volta miatt van elmaradva.

Az *igények korlátozott volta* egyrészt abból eredt, hogy a felszabadulás utáni időig gőzturbinagyártásunk licenciát vett igénybe, a felhasználók részéről pedig a paraméterek és gépnagyságok igen lassú fejlődése nem adott indítékot tudományos tapasztalatszerzésre és a konstrukciók felülvizsgálatára; másrészt a hazai energiaipar igényei mind gépnagyságban, mind pedig gőzparaméterekben elmaradtak a nagy országokéhoz képest, elsősorban energiahálózataink és tüzelőanyag-előfordulásaink korlátozott volta, de egyéb nem részletezendő szempontok miatt is.

A hazai gőzturbina tárgyú tudományos tevékenység megindításának egyik oka az volt, hogy az előző licenciavételből jelentős tapasztalati és egyéb anyag birtokában turbinagyártásunk képes volt a legkülönbözőbb export igényeknek eleget tenni. Ilyen módon rákényszerült arra, hogy a meglevő ismereteket tudományos bírálat alá vesse és az egyes konkrét továbbfejlesztési igényeket tudományos tevékenység segítségével oldja meg. A másik indíték az energiaipar fokozott gazdaságosságra irányuló törekvése volt, ami mind saját szerveivel, mind pedig a gyártó iparral szemben támasztott tudományos munkát ösztönző követelményeket. Mindezek eredménye volt:

a Budapesti *Műszaki Egyetem* oktatási anyagának korszerűsítése és alkalmazkodása az igényekhez; az oktatók különleges szakmai ismereteinek fejlesztése;

a nagyobb teljesítményű (50 és 100 MW), nagyobb paraméterű (90—110—130 ata, 500—535—565 °C) turbinák megvalósítása (*Láng Gépgyár*); az új rendszerű (ipari és újrahevítéses) szabályozások kifejlesztése (*Láng Gépgyár*);

a kondenzátorok felülvizsgálata, fejlesztése (*Magyar Villamos Művek Tröszt, Erőmű- és Hálózattervező Vállalat, Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Láng Gépgyár*);

a keverőkondenzátorok kifejlesztése (*Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Energiagazdálkodási Intézet, Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*);

a lengéstani vizsgálatok bevezetése (*Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*);

a hőállapotok, hőfeszültségek kivizsgálása a gazdaságos indítás stb. érdekében (*Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Magyar Villamos Művek Tröszt, Láng Gépgyár*);

a szabályozások dinamikájának vizsgálata (*Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*);

a kiömlőrészek áramlástani vizsgálata (*Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*).

Ezekon felül érdemleges tudományos tevékenység folyt és folyik olyan tárgykörökben is, amelyek általános hőtani vagy hőerőművi jellegüknél fogva nem tekinthetők szorosan gőzturbina-tárgyúaknak. Ilyenek a fűtőturbina rendszerek vizsgálata, a több közegees rendszerek vizsgálata, a blokkok túlterhelhetősége, az önműködő indítás és hasonló mások. Az egész tevékenységre az jellemző, hogy mindig a népgazdasági szükséglet kielégítésére irányult és mélységében a korlátozott lehetőségekhez alkalmazkodott.

A felsorolt eredmények mégis azt mutatják, hogy eredményeink, amelyeket irodalmi tájékozódásunk alapján hajlamosak vagyunk a világ összkutatási eredményeivel összemérni, így sem lebecsülendők és mindig megfeleltek a reális célkitűzéseknek. Lehetőségeink részleteiben a következők:

*Áramlástani* téren a lapátozat vizsgálatára irányuló tevékenység jelen-



téktelen és a *Láng Gépgyár* birtokában levő kísérleti turbina alkalomszerű igénybevételére szorítkozik. Mint említettük, a korszerű vizsgálatok annyira különlegesen és költségesen, hogy a szerény volumenű turbinagyártás ezt a fejlődést nem tudja nyomon követni, főleg nem a legnagyobb méretek vonatkozásában. Ez volt egyúttal legfőbb indítéka a 200 MW és annál nagyobb teljesítőképességű gépek licencia-vásárlásának. Egyéb áramlástan területen a tevékenység az irodalom, a tanulmányutak és a tapasztalatcsere útján birtokunkba jutott kísérleti anyag felhasználására szorítkozik, kivéve a kiömlőrész vizsgálatát, ahol is a megindult vizsgálat égető igénynek tesz eleget.

A *hőigénybevételek és deformációk* kivizsgálása kezdi a kívánt színvonalat elérni. Az ez irányú fejlődésre az a gőzturbinákat üzemben tartó *Magyar Villamos Művek Tröszt* adott és ad indítékot azáltal, hogy átmeneti üzemállapotok kivizsgálását az üzembiztonság és gazdaságosság fokozása érdekében szorgalmazza. A vizsgálatokat végrehajtó *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* immár jelentős felkészültségével és ráfordításával nem csupán a gyakorlati kívánalmaknak tesz eleget, hanem mind a feladatok, mind a módszerek terén kezdeményezőleg lép fel. Ezzel a tevékenységével nemcsak energiaiparunk igényeinek tesz eleget, hanem jelentős segítséget nyújt turbinagyártó iparunknak is.

A *lengéstani vizsgálatokra* a felkészültség mind elméletileg, mind kísérletileg megfelelő, de aligha fogja azt a szintet elérni, ami a leghosszabb lapátok megvalósításához szükséges.

A *szabályozási feladatok* megoldásában az elméleti és kísérleti felkészültség a legfontosabb teendőik megoldását lehetővé teszi (ilyen pl. a 100 MW-os gőzturbina újrahevítéses szabályozásának önálló megvalósítása). Nem terjed azonban ki többszörös szabályozási rendszerek dinamikai vizsgálatára, teljes körök szimulátoros vizsgálatára; ténylegesen megvalósított rendszerek kivizsgálására pedig csupán a legegyszerűbb eszközök állnak rendelkezésre.

Mindent összevetve a hazai tudományos tevékenység lényegében eleget tesz azoknak a feladatoknak, amire a magyar ipar vállalkozott; a legnagyobb teljesítményű gépegységek kifejlesztéséhez kapcsolódó igényeket azonban már nem képes kielégíteni.

Az úgy is tiszteletre méltó tevékenység *publikációkban* (disszertációk, cikkek) alig tükröződik. Ennek oka főleg az, hogy egy-egy tudományos munkát is igénylő feladat megoldása után azonnal újabb feladat jelentkezik és így a tudományos munkának főleg csak gyári intern feljegyzésekben marad nyoma (pl. a hidraulikus átvivő elem időállandójának kísérleti vizsgálata újszerű módszerrel, vagy a forgórész hőmérsékleteloszlásának vizsgálata (*Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*). Szerencsésebb helyzetben vannak azok a munkák, amelyek természetüknél fogva nincsenek szigorú határidőhöz kötve (ilyenek például a *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* munkái).

Elismerően kell megemlékeznünk arról a tényről, hogy a gőzturbinákhoz kapcsolódó tudományos munkában az összes érdekeltek (a *Budapesti Műszaki*

Egyetem három tanszéke, Villamosenergiapari Kutató Intézet, Erőmű- és Hálózattervező Vállalat, Energiagazdálkodási Intézet, Magyar Villamos Művek Tröszt, Láng Gépgyár) központi adminisztratív irányítás nélkül is eredményesen és egymás érdekeit kölcsönösen figyelembe véve együttműködnek a közös cél érdekében. Ez az együttműködés a kulcsa annak, hogy a hazai tudomány rendkívül szerény ráfordítással eddig eleget tudott tenni a reális népgazdasági célkitűzéseknek, az együttműködés fejlődése pedig záloga a tudományos továbbfejlődés lehetőségének.

## IRODALOM

1. SÖRENSEN, E.: Gőzturbinák. *Brennstoff-Wärme-Kraft* 17 (1965), 196–198.
2. WILKE, H.: Korszerű gőzturbina-berendezések jellemzői. *Betriebs-Ökonom* 21 (1967), 84–87.
3. SCSEGLAJEV, A. V.: A gőzturbinaépítés fejlődése a Szovjetunióban. *Teploenergetika* 14 (1967); III, 2–5.
4. ZIL'BERSTEJN, Sz. L.: A gőzturbinagyártás a Német Szövetségi Köztársaságban és Svájcban. *Energomasinosztrojenie* 12 (1966); X, 48–49.
5. BIDARC, R.: Nagyméretű gőzturbinák és turbogenerátorok. *Techn. Mod.* 57 (1965), 133–134.
6. Erőművi gőzturbinák kétirányú fejlesztése. *Power* 110 (1966); XII, 18–S 20.
7. EISCHNER, G.: Gőzturbinaházak. *Maschinenbautechnik* 13 (1964), 170–177.
8. LATUSEV, Ju. V.: Nagynyomású, nagyhőfokú gőzturbinák szerkezeti anyagai. *Teploenergetika* (1963); VI, 16–20.
9. MURPHY, M. C.—DUVAL, D.—CHITTY, A.: *Metallurgia* 423 (1965), 13–23.
10. GROSS, H.: Nagy turbinák szerkezeti anyagai. *Metal Progress* (1965), 91–96.
11. EHRLICH, R.: Gőzturbinák viselkedése hőtanalóg átmeneti állapotban. *AEG Mitteilungen* (1962), 481–487.
12. TOGUSCHOV, I.: Gőzturbinák és erőművi blokkok indítása. *Institut für Energetik Mitteilungen* (1963); LI, 38–53.
13. SZELENYEV: A hőmérsékletmező megállapítása villamos modellezéssel gőz- és gázturbinák munkadarabjaiban. *Energomasinosztrojenie* (1963); X, 1.
14. GENTSCH: A statikus igénybevételeknek nagy hőmérsékleten a nyúlásméréstechnika segítségével történő megállapításra vonatkozó problematika. *Maschinenbau Technik* (1963), 474–480.
15. DEMIDOV, Ja. F.: Gőz- és gázturbina elemek hőmérsékletmezőinek számítása állandósulatlan üzemviszonyok esetén. *Energomasinosztrojenie* (1965); II, 32–35.
16. GEISLER, K. V.: A hőáramlás hidraulikus modellezése. *Wärme* 72 (1966), 126–134.
17. LEJZEROVICS, A. S.: Gőzturbinaházak megengedett melegedési sebessége. *Teploenergetika* 13 (1966); VI, 51–56.
18. TURBILOV, M. A.—PROHOV, Sz. A.: A T-100–130 típusú gőzturbina főgőzszelepeinek egyenetlen melegedése indításkor. *Teploenergetika* 13 (1966); IV, 25–29.
19. IL'CSENKO, O. T.: Turbina-forgórészek hőmérsékletállapota tranziens üzemben. *Teploenergetika* 15 (1968); V, 2–6.
20. VASZIL'CSENKO, G. Sz. és szerzőtársai: Hegesztett forgórészek modelljeinek túlpörgetési vizsgálata és szerkezeti szilárdságának értékelése. *Teploenergetika* 13 (1966); IX, 56–61.
21. FERENCZ, A.: Gőzturbinák forgórészének nagy hőfokon való viselkedésére vonatkozó megállapítások. *Energetika* 14 (1966), 294–298.
22. BREVER, A.: Forgó alkatrészek feszültségvizsgálata félvezetős távméréssel. *Strain Gage Readings* (1963); VI–VII, 3–10.
23. DEJCS, M. Je. és szerzőtársai: Erősen elcsavart profilú körgyűrűs turbinarács vizsgálata. *Teploenergetika* 11 (1964); XI, 26–30.
24. A nagyteljesítményű turbinák utolsó fokozataiban levő lapátok számítása és az elcsavarás törvényeinek vizsgálata. *Energomasinosztrojenie* (1962); X, 1–6.
25. ZAVADOVSZKIJ, A. M.—BERKOVICS, A. L.: A nedves gőz expanziójának termodinamikai különlegességei turbinákban. *Teploenergetika* 14 (1967); III, 9–15.
26. QUAYLE, J. P.: A gőzkondenzátor (beszámoló a fejlődéséről). *Copper* 2 (1968); IV (július), 16–20.

27. KIRILLOV, I. I.: A nedvességleválasztás lehetősége a gőzturbina kisnyomású fokozataiban. *Energomasinosztrojenie* 12 (1966); XI, 14–15.
28. KACSURINER, Ju. Ja. — FAGYEJEV, I. P.: A gőznedvesség hatása a turbinafokozat munkájára. *Energomasinosztrojenie* 7 (1961); VIII, 5–8.
29. MARKOV, N. M.: A nagyteljesítményű gőzturbinák gázdinamikai vizsgálata. *Energomasinosztrojenie* 14 (1968); VII, 15–20.
30. NOSZOVICKIJ, A. I.: Gőzturbina-kipufogócsanak üzeme. *Energomasinosztrojenie* 14 (1968); V, 34–35.
31. BÜKOV, N. N.: Különböző kiömlési szerkezettel ellátott turbinák jelleggörbéinek vizsgálata. *Teploenergetika* 15 (1968); VII, 45–46.
32. KIRILOV, I. V.: Nagyteljesítményű gőzturbinák kisnyomású részében keletkező energia-veszteségek vizsgálata. *Teploenergetika* 10 (1963); VI, 40–45.
33. JERIE, J.: A kilépőcsokban előálló veszteségek kihatása a gőzturbina végfokozatának tulajdonságaira. *Strojní Časopis* (1963), 426–439.
34. BERMAN, L. D.: Nagy egységteljesítményű turbinák kondenzátorai. *Teploenergetika* 10 (1963); III, 82–87.
35. JASCSENKO, V. P. — ABRAMOV, V. M.: Gőzturbina-kondenzátorok modellvizsgálata. *Energomasinosztrojenie* 9 (1963); X, 20–23.
36. BERMAN, L. D.: Nagy egységteljesítményű turbinák kondenzátorai. *Teploenergetika* 10 (1963); III, 82–87.
37. STERNLICHT, B. — LEWIS, P.: Nagysebességű turbogépek rezgési problémái. *Transactions Asme-B* 90 (1968), 174–186.
38. MONTGAY, J.: Erősen elcsavart forgólápat hajlító- és csavaró rezgései. *Brown Boveri Mitteilungen* 53 (1966), 216–230.
39. GEORGESCU, AL. — IFTIME, P.: 50 MW-os turboaggregátum rendellenes rezgéseinek megszüntetése. *Energetica* 14 (1966); IV, 160–164.
40. ABECK, A.: Gőzturbinák nyúlás- és rezgésmérése. *R. techn. entretien* 18 (1966); V, 21–26.
41. THOMAS, H. J.: A turbinaépítés szilárdsági és lengési kérdései. *AEG Mitteilungen* (1959), 632–641.
42. TONDL, A.: Több siklócsapággal alátámasztott forgórészek önrezgései és nem lineáris rezonanciái. *Wear* (1965); V, 349–357.
43. SAUERBECK, U.: Elektronikus fordulatszám szabályozás gőzturbinákhoz a frekvenciafüggő teljesítményszabályozáshoz. *Energie und Technik* 17 (1965), 394–398.
44. BOLTE, W.: Gőzturbinaszabályozás szimulálása analóg számítógépen. *Brennstoff—Wärme-Kraft* 17 (1965), 441–446.
45. GREENWOOD, J. R. — PAYNE, N. D.: Automatikus turbinaindítás. *Brennstoff—Wärme-Kraft* 17 (1965), 492–495.
46. BEECHY, M. A. — CRUMP, R. F. E.: Korszerű gőzturbina-egységek műszerezése és szabályozása. *Control* 10 (1966); XC1, 52–54.
47. SCHUBERT, J.: 600 °C-os berendezés indítása és leállítása. *Mitteilungen der V. G. B.* (1962), 388–393.
48. MÖSCHLER: A gőzturbina indítása. *Mitteilungen Institut für Energetik* (1965); LXIX, 525–542.
49. CLEVE, U. — SAUERBECK, U.: Automatizálás hőerőművekben. *Combustion* (1964); V, 18–23.
50. SCHINK, H.: Gőzturbinák ellenőrzése. *Energie und Technik* (1960), 14–15.
51. SCHEU, J.: Gőzturbinák vezérlőállásának kezelése, felügyelete és védőberendezései. *AEG Mitteilungen* (1963), 25–34.
52. STEINHAUER, J.: Mechanikus állapotátározó elektronikus ellenőrzése gőzturbináknál. *Antriebstechnik* (1966), 350–354.

**Report on the Present State of the Hungarian Research-Work in the Field of the Development of Steam-Turbines.** Researchers and designers pay an ever increasing attention to the economic features of engines. This tendency prevails by observing some leading principles e.g. lessening of the investment funds, increase of efficiency, improvement of the dependability of running, enlargement of the economy of servicing. These principles practically lead to making efforts for clearing up specially selected problems, namely: how to enlarge the output of a unit; adaptation of the units to new, higher levelled parameters; improvement of the total efficiency of the engine; re-consideration of the problems of mechanical strength; better choice of structural materials of higher quality; extended use of automation, and a larger application of safety devices. As far as flow-research is concerned, all the streaming parts are included into the investigation program; researchers' activity is greatly concerned with problems of mechanical strength of various component parts and with those of oscillation phenomena. Also the task

to find the solution of an automatic start is at stake. Maybe the whole research activity in Hungary lags somewhat behind the work done in highly industrialized countries, nevertheless our researchers are able to compete with the demands established by our economists.

**Bericht über die Lage der wissenschaftlichen Forschung in Ungarn auf dem Gebiete der Dampfturbinen.** In der Forschungstätigkeit zur Weiterentwicklung von Dampfturbinen steht das Bestreben die Wirtschaftlichkeit zu fördern, immer mehr im Vordergrund. Die leitenden Gedanken hierzu sind mögliche Senkung der Anlagekosten, Erhöhung des Wirkungsgrades, Steigerung der Betriebssicherheit, und Herabsetzung der Kosten der Wartung und Instandhaltung. Im diesen Sinne verfolgen Forscher und Konstrukteure in einzelnen die bessere Lösung folgender Teilfragen: Schaffung von Einheiten höherer Leistung; Anpassung einer gegebenen Einheit an höhere Parameterwerte; Erreichung eines höheren Turbinenwirkungsgrades; Überprüfung der konkreten Festigkeitsfragen; Weiterentwicklung von Baustoffen; breitere Verwendung der Automatik; mehrseitige Ausnützung von Sicherheitseinrichtungen. Die Forschung von strömungstechnischen Fragen erfaßt alle durchströmenden Teile. Besondere Achtung wird Fragen der Festigkeit einzelner Bauteile und Problemen der Oszillationserscheinungen gewidmet; auch die Lösung des automatischen Anlassens ist auf der Tagesordnung. Ansonsten bemühen sich die Forscher nur um die Überprüfung bereits verwirklichter Konstruktionen. Nun besteht zwischen der einheimischen und der ausländischen Forschung ein gewisser Abstand zu Gunsten der letzteren, besonders im Aufmaße Gegenüber den hochindustrialisierten Ländern, doch scheinen unsere Forscher in der Lage zu sein, den Ansprüchen unserer eigenen Volkswirtschaft zu entsprechen.





# LASER-SUGARAS PLAZMADIAGNOSZTIKA

BITÓ JÁNOS

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA\*

[Beérkezett 1969. március 19-én]

A laser-sugaras plazmavizsgáló módszerek két jellegzetes csoportjáról, a szóródási és az interferometrikus mérésekről nyújt kritikai áttekintést a szerző. Megadja a szóródási jelenségeket értelmező alapösszefüggéseket, és a plazmajellemzők ezek alapján történő számítási módszereit. A semleges gázokkal végzett interferometrikus törésmutatómérések alapösszefüggéseiből kiindulva jellemzi a módszert a különböző módon ionizált, plazma-állapotban levő gázok esetére. Összehasonlítja a spektrális és laser-sugaras módszereket, valamint jellemzi az utóbbi módszerekkel elérhető hely- és időfelbontást.

## I. Bevezetés

Az elektromágneses hullámok és plazma kölcsönhatása során fellépő jelenségek egy csoportját felhasználva született meg a mikrohullámú plazmadiagnosztika [1]. Mint azt ALPHER, WHITE, ASHBY és JEPHCOTT kimutatták [2, 3], a látható színeképtartományban kisugárzott elektromágneses sugárzás is felhasználható a plazma interferometrikus úton történő vizsgálatára. E módszer érzékenysége a növekvő hullámhosszal nő, amint az már a mikrohullámú plazmadiagnózis kialakítása során megállapítást nyert [4]. Ennek megfelelően megindultak a kísérletek a még komolyabb nehézségek nélkül detektálható infravörös színeképtartomány ilyen jellegű hasznosítására [5], majd a laser-technika kialakulásával a koherens, intenzív monokromatikus laser-sugár alkalmazására [6].

A monokromatikus elektromágneses hullámok és plazma kölcsönhatásán alapuló plazmavizsgáló módszereket az  $\Omega_0$  szondázó frekvencia szerint három csoportba sorolhatjuk, az  $\omega_p$  plazmafrekvencia figyelembevételével:

a) Az  $\omega_p / \Omega_0 \gg 1$  esetben a levágási, abszorpciós jelenségek vizsgálatán alapuló módszerek;

b) az  $\omega_p / \Omega_0 < 1$  a mikrohullámú transzmisszió és üregrezonátoros mérések, fáziseltolódás mérések;

c)  $\omega_p / \Omega_0 \ll 1$  esetén, az optikai színeképtartományban végzett vizsgálatok.

Az „optikai színeképtartomány”-ban [c) pont] már a mikrohullámú transzmisszió során fellépő fáziseltolódás igen kicsiny, nehezen mérhető. Sokkal könnyebben mutatható azonban ki fáziseltolódás az optikai tartományba eső

\* Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, Váci út 77. Budapest IV.,

szondázó frekvenciák esetén. Az optikai módszerek jellegüket tekintve két csoportba sorolhatók: a szóródásos jelenségeken és a törésmutató-változáson alapuló mérési módszerek csoportjába. Ma már mindkét vonatkozásban szinte kizárólag lasert alkalmaznak fényforrásként. Ezeknél az elektromágneses hullámoknak a villamosan töltött részecskék egyensúlyi fluktuációin fellépő szóródását, ill. a plazma által előidézett törésmutató és ezzel együtt az optikai úthossz változását használják ki.

## II. Szóródási módszerek

BOWLES 1957-ben végzett kísérletei [7] hívták fel a figyelmet a plazma által szórt elektromágneses hullámok érdekes tulajdonságaira. Kísérletei során ugyanis BOWLES megállapította [7], hogy a plazma által szórt jelben mutatózó Doppler-kiszélesedés — annak ellenére, hogy a szóródás az elektronokkal kapcsolatos kölcsönhatásra vezethető vissza — az ionok termikus sebességével függ össze. Ez, az eddigi ismeretek birtokában, a le nem árnyékolt elektronokkal kapcsolatos elképzelés feltételezésével váratlan összefüggésre mutatott rá, és egyben a plazma kollektív viselkedésének újabb, direkt megerősítéseként szolgál.

A szórási keresztmetszetet az elektronkoncentráció-fluktuációk spektrális sűrűsége szabja meg. Ennek nagyságát egymástól függetlenül, tisztán elméleti eszközökkel, bizonyos szempontok figyelembevételével választott modell alapján többen is megadták [8—10], sőt HAGFORS azt állandó mágneses térben levő plazmára is kiszámította [11]. E számításoknál lényeges könnyebbséget jelentett, hogy termikus egyensúlyban levő plazmát tételeztek fel, és csak SALPETER [10] vizsgálta meg azt az esetet, amikor az elektronokra és ionokra nézve nem áll fenn az izoenergetikus kikötés.

A szóródási jelenségek egyértelmű kapcsolathoz hozhatók a plazmában fennálló kölcsönhatásokkal, elsősorban a töltéshordozó koncentrációban bekövetkező fluktuációkkal [12—18]. Ily módon egyértelmű összefüggést lehet megállapítani a jellegzetes szóródási paraméterek és a plazma elektronkoncentrációja között. Ez utóbbi ismeretében viszont — valamely eloszlás, általában a Maxwell—Boltzmann-eloszlás feltételezésével — a további plazma-jellemzők számíthatók.

Jó közelítésként azt mondhatjuk, hogy a szóródási jelenségek két igen érdekes határesettel jellemezhetők, és elsősorban ezek érdemelnek figyelmet. Nevezetesen, ha

a) a beeső fény  $\lambda$  hullámhossza lényegesen kisebb, mint az  $r_D$  Debye-sugár, azaz

$$\lambda \ll r_D = \left( \frac{kT}{4\pi n e^2} \right)^{1/2},$$

ahol  $T$  a töltött részecske hőmérséklete,  
 $n$  a töltött részecskék koncentrációja;

b) a beeső fény hullámhossza lényegesen nagyobb, mint a Debye-sugár, azaz

$$\lambda \gg r_D.$$

Az első határesetben a plazma kollektív tulajdonságai nem jönnek érdemlegesen számításba, mert a Debye-távolság egyben a karakterisztikus, legkisebb fluktuációs távolságot is jelenti. Ebben az esetben is fellép szóródás, ezért azonban az elektrongáz felelős, azaz a fluktuációk hatását ekkor háttérbe szorítja az elektronok termikus sebességére visszavezethető szórás. E jelenség sokban hasonlít a jól ismert Thomson-szórásra [15], amely elektrodinamikailag és térelméletileg ma már egyaránt jól értelmezhető. A plazmával való kölcsönhatásnál azonban ez még a Doppler-effektusra visszavezethető vonalkiszéleléssel komplikálódik, amelynek okozójaként az elektronok termikus mozgását szokás megjelölni [16].

A másik határesetben ( $\lambda \gg r_D$ ) a szóródás az elektronsűrűség egyensúlyi fluktuációjára vezethető vissza, azaz a plazma kollektív tulajdonságaira. Minthogy azonban az elektronsűrűségben bekövetkező változások a plazmában fellépő polarizációs jelenséggel együtt szoros kapcsolatban vannak az ionok elektronok által történő Debye-féle leárnýékolásával és fordítva, a szóródási paraméterek alakulásában e határesetben szükségszerűen tükröződnie kell az ionok tulajdonságainak is [17].

Tekintsünk egy olyan síkhullámot, amely a  $V$  térfogatot kitöltő plazmába esik be. Az ily módon előálló beeső és szórt síkhullámra jellemző villamos tér  $E$  erőssége [17] az

$$E(\mathbf{x}) = E_0 \cos(\Omega_0 t - \mathbf{k}\mathbf{x}) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int_V dt' \int d\mathbf{x}' \frac{\delta \left( t' - t + |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \cdot \frac{1}{c} \right)}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \mathbf{j}(\mathbf{x}', t') \\ - \frac{1}{c} \int_V dt' \int d\mathbf{x}' \frac{\delta \left( t' - t + |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \cdot \frac{1}{c} \right)}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \rho(\mathbf{x}', t') \quad (1)$$

összefüggése adható meg, ahol  $\mathbf{k}$  a hullámszámvektor;  $\Omega_0$  a beeső síkhullám frekvenciája;  $\rho$  a töltött részecskék sűrűsége.  $\mathbf{j}(\mathbf{x}, t)$  az áramsűrűség. A veszővel (') jelzett mennyiségek a szóródás után érvényes jellemzők.

A hullámzónára nézve közelítőleg igaz, hogy a

$$\frac{d \left( t' - t + |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \cdot \frac{1}{c} \right)}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \approx \frac{1}{c} \frac{\mathbf{x} \cdot \mathbf{x}'}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \cdot \frac{\partial}{\partial t'} \delta \left( t' - t, \frac{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|}{c} \right) \quad (2)$$

Az (1) egyenletben elvégezve a kijelölt integrálásokat (parciális integrálással), és figyelembe véve a

$$\nabla \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

összefüggést, a szórt részecskék által létesített villamos tér  $\mathbf{E}_s$  erősségére az

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{x}, t) = -\frac{1}{c^2} \int dt' \int_V d\mathbf{x}' \frac{\delta\left(t' - t + |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \frac{1}{c}\right)}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \cdot \frac{\partial \mathbf{j}(\mathbf{x}', t')}{\partial t'} - \frac{\mathbf{x} \left( \mathbf{x} \frac{\partial \mathbf{j}}{\partial t} \right)}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|^2} \quad (4)$$

összefüggés adódik. A plazma  $\mathbf{j}(\mathbf{x}, t)$  áramsűrűsége a

$$\mathbf{j}(\mathbf{x}, t) = \sum_n q_n \mathbf{v}_n(t) \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n(t)) \quad (5)$$

alakban fejezhető ki [17], ahol az összegezés az összes plazmarészecskére történik, amelyek közül az  $n$  részecske  $q_n$  töltéssel  $\mathbf{x}_n$  helyzetvektorral és  $\mathbf{v}_n$  sebességgel jellemezhető. Ekkor a

$$\frac{\partial \mathbf{j}}{\partial t} = \sum (q_n \cdot \mathbf{V}_n \cdot \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n) - q \mathbf{v}_n \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n)), \quad (6)$$

ahol

$$\mathbf{V}_n = q_n \mathbf{E}(\mathbf{x}_n, t) \cdot \frac{1}{m_n} \quad (7)$$

és az első Born-féle közelítésnek megfelelően

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}_n, t) \approx \mathbf{E}_0 \cos(\Omega_0 t - \mathbf{k} \mathbf{x}_n). \quad (8)$$

A (6) egyenlet jobb oldalán szereplő második tag  $\mathbf{E}_0$ -tól független, nem képvisel szóródó hullámot, a jelen tárgyalás szempontjából tehát figyelmen kívül hagyható. Az első tagban azonban szemmel láthatóan az elektronok szerepe a döntő, az ion-elektron tömegarányok miatt. Ennélfogva

$$\frac{\partial \mathbf{j}}{\partial t} \approx \left[ \frac{e^2}{m_e} \right] \mathbf{E}_0 \cos(\Omega_0 t - \mathbf{k} \mathbf{x}) n_e(\mathbf{x}, t), \quad (9)$$

ahol  $n_e(\mathbf{x}, t)$  az elektronsűrűség

$$n_e(\mathbf{x}, t) = \sum_n \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n(t)). \quad (10)$$

Minthogy a hullámzónában

$$|\mathbf{x}| \gg |\mathbf{x}'|, \quad (11)$$

ezért jogos a következő közelítés:

$$\frac{\delta \left[ t' - t + |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \frac{1}{c} \right]}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} = \frac{1}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \int \frac{d\omega}{2\pi} \cdot \exp \left[ i\omega \left( t' - t + |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \frac{1}{c} \right) \right] \approx \quad (12)$$

$$\approx \frac{1}{|\mathbf{x}|} \int \frac{d\omega}{2\pi} \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{|\mathbf{x}|}{c} \right) \right] \cdot \exp(-i\omega t') \cdot \exp \left[ \frac{i\omega}{c} \right] \mathbf{n} \cdot \mathbf{x}',$$

ahol  $\mathbf{n}$  a szórt hullám terjedési irányába mutató egységvektor;  $\omega$  a sugárzás frekvenciája.

Ezt figyelembe véve az  $r_0$  klasszikus elektronsugárnak és az  $n_e$  elektron-sűrűség

$$n_e(\mathbf{k}, \omega) = \int_T dt \int_V d\mathbf{x} \exp[-i(\omega t + \mathbf{k}\mathbf{x})] \cdot n_e(\mathbf{x}, t) \quad (13)$$

Fourier-transzformáltjának bevezetésével a szórt hullámokra vonatkozóan az

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{x}, t) = -\frac{r_0}{2|\mathbf{x}|} (\mathbf{E}_0 - \mathbf{n}(\mathbf{n}\mathbf{E}_0)) \int \frac{d\omega}{2\pi} \cdot \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{|\mathbf{x}|}{c} \right) \right] \times \quad (14)$$

$$\times \left[ \mathbf{n} \left( \mathbf{k} - \frac{\omega}{c} \right) \mathbf{n}, (\omega - \Omega_0) \right] + \exp \left[ -i\omega \left( t - \frac{|\mathbf{x}|}{c} \right) \right] \mathbf{n} \left[ \mathbf{k} - \frac{\omega}{c} \mathbf{n}, (\omega - \Omega_0) \right]$$

összefüggés adódik [17]. Ha egy olyan detektort helyezünk el a plazmától  $x$  távolságra, amely sávszűrője segítségével csak az

$$\left( \omega - \frac{1}{2} \Delta\omega, \omega + \frac{1}{2} \Delta\omega \right)$$

frekvenciatartományba eső frekvenciákat érzékeli, úgy az mindössze csak a

$$\delta \mathbf{E}_s(\mathbf{x}, t) = -\frac{r_0}{|\mathbf{x}|} (\mathbf{E} - \mathbf{n}, \mathbf{n} - \mathbf{E}) \int_{\omega - 1/2 \Delta\omega}^{\omega + 1/2 \Delta\omega} \frac{d\omega}{2\pi} \times \quad (15)$$

$$\times \operatorname{Re} \left\{ \left[ \exp i\omega \left( t - \frac{|\mathbf{x}|}{c} \right) n_e \right] \left( \mathbf{k} - \frac{\omega}{c} \mathbf{n}, \omega - \Omega_0 \right) \right\}$$



jelet fogja fel. Ennek átlaga

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T |\delta \mathbf{E}_s(t)|^2 dt = \frac{N \cdot r_0^2}{|\mathbf{x}|^2} |\mathbf{E}_0|^2 \times \left[ 1 - \sin^2 \alpha \cos^2(\varphi - \varphi_0) \cdot S \left( k - \frac{\omega}{c} \mathbf{n}, \omega - \Omega_0 \right) \right] \frac{\Delta \omega}{2\pi}. \quad (16)$$

Itt az elektronkoncentráció-fluktuációk spektrális sűrűsége az  $S(\mathbf{k}, \omega)$ , amelyre

$$S(\mathbf{k}, \omega) = \lim_{\substack{V \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{2}{V \cdot T} \left[ \frac{|\mathbf{n}_e(\mathbf{k}, \omega)|^2}{N} \right], \quad (17)$$

ahol  $n_e$  az elektronsűrűség;  
 $N$  a plazma elektronjainak összessége,  $N = n \cdot V$ ;  
 $\alpha$  a  $\mathbf{k}$  és az  $\mathbf{n}$  közötti szög;  
 $\varphi, \varphi_0$  azimutuszögek,  $\mathbf{n}$ -re és  $\mathbf{E}_0$ -ra vonatkozóan.

Ha a beeső elektromágneses hullám nem polarizált, átlagértéket vehetünk a  $\varphi_0$ -at tartalmazó tagnál, és ekkor a szögértékeket tartalmazó tényező az

$$\left( 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right)$$

alakra egyszerűsödik.

A mérésekhez célszerű az  $S(\mathbf{k}, \omega)$ -kból képzett átlagértékek kiszámítása, amit a  $C(\mathbf{r}, t)$  korrelációs függvény bevezetésével nyerhetünk, ahol

$$C(\mathbf{r}, \tau) = \lim_{\substack{V \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{1}{V \cdot T} \int d\mathbf{x} \int dt \left[ \frac{\langle n_e(\mathbf{x}, t) \cdot n_e(\mathbf{x} + \mathbf{r}, \tau + t) \rangle}{n} \right]. \quad (18)$$

Stacionárius esetben, homogén térbeli eloszlásnál — uniform plazmát feltételezve — a (18) összefüggés a

$$C(\mathbf{r}, \tau) = \langle n_e(\mathbf{x}, t) n_e(\mathbf{x} + \mathbf{r}, t + \tau) \rangle \cdot \frac{1}{n} \quad (19)$$

alakot ölti. Fourier-transzformációt végezve a helykoordináták, Laplace-transzformációt az időkoordinátákra vonatkozóan a

$$C^+(\mathbf{r}, \tau) = \int \frac{d\mathbf{p}}{2\pi i} \exp(\mathbf{p}, \tau) \int \frac{d\mathbf{k}}{(2\pi)^3} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r}) \cdot S^+(\mathbf{k}, \mathbf{p}) \quad (20)$$

egyenletet kapjuk. Innen

$$C^+(\mathbf{r}, \tau) = \begin{cases} C(\mathbf{r}, \tau), & \text{ha } \tau > 0; \\ 0, & \text{ha } \tau < 0. \end{cases} \quad (21)$$

A meghatározni kívánt spektrális sűrűség a

$$p = i \cdot \omega \quad (22)$$

helyettesítéssel

$$S(\mathbf{k}, \omega) = 2 \operatorname{Re} [S^+(\mathbf{k}, i\omega)] \quad (23)$$

alakú.

Ez az összefüggés — amely tehát kapcsolatot teremt a plazmán szóródó sugárzás jellemzői és a plazma töltéshordozó koncentrációja között — ebben a formában csak különleges esetre, uniform plazmára vonatkozik. A nyert eredmény elemi úton, más eszközökkel is levezethető (16), ha elfogadjuk a tökéletesen leárnyékolott test-részecskék elképzelést. Ekkor a Vlaszov-egyenletheől kiindulva néhány közbenső közelítés alkalmazásával ugyancsak a fenti eredményre juthatunk.

Abban az esetben, ha a szórt sugárzás frekvenciája a beeső hullámok frekvenciájával közelítőleg megegyezik, azaz az előzőekben alkalmazott jelölésekkel

$$\omega \sim \Omega_0, \quad (24)$$

vagyis a szórt sugárzás intenzitását a zérus sebességű test-részecskék sűrűsége szabja meg. Kimutatható [17], hogy ebben az esetben az ionok hatása domiánál, és ennek megfelelően a szóródási jelenséget döntően az ionok eloszlás függvénye szabja meg. Ez egyben felvilágosítással szolgál a termikus egyensúly állapotában levő, uniform plazmáknál tapasztalt jelenségre. Az előzők ismeretében ugyanis érthető, hogy a szóródásnál észlelt vonalszélesség elsősorban az ionok és nem az elektronok termikus sebességére jellemző. Ez felhasználható tehát ionhőmérséklet meghatározásra, ha a termikus egyensúly és a plazma uniformitásával kapcsolatos kikötés teljesül.

Ha az előzőekben bemutatott második határesetet tekintjük, tehát amikor  $\lambda \gg r_D$ , a szondázó hullám számára nem önmagában a testrészecske jelenti a szórócentrumot, hanem e részecske és az azt körülvevő leárnyékoló töltésekből kialakult töltésfelhő. Ez az árnyékoló felhő, stacioner helyzetű részecske környezetében átlagosan  $1/2$  részecskével kevesebbet tartalmaz a saját előjelének megfelelő töltéssel rendelkező részecskékből, és  $1/2$  részecskével többet az ellenkező előjelű — mag-részecskével azonos töltésű — részecskékből [17].

Mozgó töltésekre ez a kép némileg bonyolultabb, és bizonyos fokig módosul is. Az elektronok többsége — nem izoenergetikus plazma esetén — jóval nagyobb sebességgel mozog, mint az átlagos ion, ezért ezek nem is vesznek

részt az árnyékoló felhő kialakításában. Emiatt ilyen esetekben számottevőbb elektron hiány mutatható ki az ionokat leárnyékoló Debye-felhőben, következésképpen emiatt a szóródási jelenségekben való szerepük is mérséklődik.

Akkor sem kell számottevően módosítani az előbbi megfontolásokat, ha a plazma állandó külső mágneses térben helyezkedik el. Kiinduló modellként szintén a test-részecskés, teljesen leárnyékolt plazmastruktúrát kell tekinteni, és szuperpozíciós formában célszerű figyelembe venni a másodlagos hatásokat [17].

A  $\sigma_\omega$  effektív szóródási hatáskeresztmetszet és a plazmajellemzők között SAFRANOV állapított meg jól használható összefüggéseket [18]. Az első határesetre — ( $\lambda \ll r_D$ )-a

$$\sigma_\omega = \left( \frac{e^2}{m \cdot c^2} \right)^2 (1 - \sin^2 \vartheta \cos^2 \varphi) \frac{c}{2 \pi^{1/2} \cdot \omega v_{Te} \cdot \sin \frac{\vartheta}{2}} \exp \left[ \frac{(\Omega_0 - \omega^2) \cdot c^2}{4 \Omega_0^2 \sin^2 \frac{\vartheta}{2} - v_{Te}^2} \right] \quad (25)$$

alakban, ahol

$\vartheta$  a beeső és a szórt sugárzás hullámszám vektorai által bezárt szög;  
 $\varphi$  a beeső fény  $\mathbf{E}$  villamos térerőssége és hullámszám vektorának  $(\mathbf{E}, \mathbf{H})$  síkra vett vetülete által bezárt szög;  
 $v_{Te}$  a  $T_e$  hőmérsékletű elektronok sebessége.

Az egységnyi térfogathól származó,  $d\Omega$  térszögbe  $d\omega$  frekvencia intervallumban kisugárzott szórt fény intenzitása a

$$P_{\omega, \vartheta} = n \cdot S \sigma_\omega d\Omega d\omega \quad (26)$$

összefüggéssel adható meg, ahol  $S$  a beeső sugárzás Poynting-vektorának idő-átlaga. Ezt figyelembe véve könnyen megadható a szórt hullámok  $\Delta\omega'$  félértékszélessége:

$$\Delta\omega' = 4(\ln 2)^{1/2} \cdot \sin \frac{\vartheta}{2} \cdot \omega \frac{v_{Te}}{c} \quad (27)$$

Abban az esetben, ha az  $\omega \rightarrow \Omega_0$ , azaz ha a szóródás a vonalcentrum közelébe esik, az ionok szerepe meghatározó jellegűvé válik, azaz bekövetkezik az előzőekben már diszkutált eset, amikor is a részecskék drift mozgása a szóródás szempontjából elhanyagolható. Izotermikus esetet ( $T_e = T_i$ ) feltételezve a  $(\mathbf{v}, \mathbf{v} + \Delta\mathbf{v})$  sebesség intervallumba  $(M/m)^{1/2}$ -szer több ion esik, mint elektron, amint az egyébként az egydimenziós Maxwell—Boltzmann-eloszlásból azonnal

ki is tűnik. Ezzel kvalitatíve is igazoltuk, hogy ilyen esetekben a szóródási jelenségek elsősorban az iontulajdonságoktól függenek.

$\Omega_0 = \omega$  esetén az effektív szórási keresztmetszet a

$$\sigma_\omega = \left( \frac{e^2}{mc^2} \right)^2 \frac{1 - \sin^2 \vartheta \cos^2 \psi}{2 [\varepsilon(\omega)]^{1/2} \omega \cdot \sin \frac{\vartheta}{2}} \left( \frac{Mc^2}{2\pi k T_i} \right)^{1/2} \times$$

$$\times \frac{1 + \left( \frac{m T_e}{m T_i} \right)^{1/2} [1 + (\mathbf{k} - \mathbf{k}')^2 \cdot r_{Di}]}{\left[ 1 + (\mathbf{k} - \mathbf{k}')^2 r_{De}^2 + \frac{r_{De}}{r_{Di}} \right]} \quad (28)$$

alakban adható meg [18], ahol

$M$  az ionok tömege;  
 $T_i$  az ionok hőmérséklete;  
 $T_e$  az elektronhőmérséklet;  
 $\mathbf{k}, \mathbf{k}'$  a beeső, ill. a szórt sugárzás hullámszámvektora;  
 $r_{De}$  az elektronokra megadható Debye-féle árnyékolási sugár;  
 $r_{Di}$  az ionokra megadható Debye-féle árnyékolási sugár;  
 $\varepsilon(\omega)$  a dielektromos állandó.

Ha a másik határeset áll fenn, azaz  $\lambda \gg r_{Di}$ , úgy a (28) egyenlet lényegesen egyszerűsödik, mert ez esetben az utolsó tényező egyhez tart, és így igaz az, hogy

$$\frac{\omega}{c} [\varepsilon(\omega)]^{1/2} = |\mathbf{k}| \approx |\mathbf{k}'|. \quad (29)$$

Innen adódik az effektív hatáskeresztmetszet értéke [19]:

$$\sigma_\omega = \left[ \frac{e^2}{m \cdot c^2} \right]^2 \frac{1 - \sin^2 \vartheta \cdot \cos^2 \psi}{2 \pi^{1/2} \cdot \sin \frac{\vartheta}{2}} - \frac{1}{\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_{Ti}}. \quad (30)$$

Az  $\Omega_0 \neq \omega$  esetben, ha

$$(\Omega_0 - \omega) > (\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_{Ti}) \quad (31)$$

feltétel teljesül, a hatáskeresztmetszetekre a

$$\sigma(\omega) \ll \sigma(\Omega_0) \quad (32)$$

egyenlőtlenség áll fenn. A különböző ion- és elektronhőmérsékletű plazmáknál végzett vizsgálatok szerint [17], ha  $T_e \leq T_i$ , a szórási maximum a

$$\Delta\omega \sim (\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_{Ti}) \quad (33)$$

környékén lép fel. Ha ezzel szemben a  $T_e \gg T_i$  kikötés teljesül, úgy a differenciális szórás keresztmetszeteknek az  $\Omega_0 - \omega = 0$ -nál egy minimuma van, a maximuma pedig az

$$\Omega_0 - \omega = |\mathbf{k} \cdot \mathbf{k}'| \left[ \frac{k \cdot T_e}{M} \right]^{1/2} \quad (34)$$

értékeknél jelentkezik. Gyakran fellép egy „kombinációs maximum” abban az esetben, ha az

$$\Omega_0 - \omega \approx \omega_p \quad (35)$$

ahol  $\omega_p$  a plazmafrekvencia. Ekkor a szondázó hullámok a plazmarezgéseken szóródnak. E maximum szélessége rendkívül csekély, és így a szórt sugárzás energiája igen kicsiny, emiatt kimutatása komoly nehézségekbe ütközik. Az első ezzel kapcsolatos észlelések arra engedtek következtetni, hogy ha az észlelési technikát számottevően finomítani lehet, és ezáltal a kombinációs maximum jól kimutatható, úgy egy, a mikrohullámú diagnosztikai módszerhez hasonló, további vizsgálati lehetőség birtokába juthatunk. Kiderült azonban, hogy a „kombinációs sugárzás” energiája semmiképp nem elegendő a megbízható műszeres detektáláshoz.

Abban az ideális esetben, amikor a plazma uniform, és termikusan egyensúlyban van, csak a szabad elektronok hatását figyelembe vevő szórás keresztmetszet-számításokkal a

$$\frac{\sigma(\omega')}{r_0^2} = \frac{(2\pi)^{1/2}}{(\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_{Te})} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{\omega \cdot \Omega_0}{(\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_{Te})} \right] \right\}, \quad (36)$$

illetve a

$$\frac{\sigma_{\text{tot}}}{r_0^2} = 1 \quad (37)$$

összefüggésekre juthatunk [16], a kinetikus elmélet alapján. A legújabb eredmények azonban rámutattak az itt elkövetett elhanyagolásokra [17], amelyek miatt — elsősorban az iontulajdonságok, Doppler-effektus stb. következtében — pl. a (37) egyenlet is módosul

$$\frac{\sigma_{\text{tot}}}{r_0^2} = \frac{1}{2} \quad (38)$$

formában. E hiányosságokra először BOWLES jött rá [7], kísérletileg elsőnek mutatva rá a klasszikus plazmák kollektív tulajdonságaira.

Nem egyensúlyi plazmák ( $T_e > T_i$ ) esetére ROSENBLUTH és ROSTOKER [17] adtak meg összefüggést a differenciális szórás keresztmetszet és a plazma-jellemzők között, inkohereus szórást tételezve fel. Utaltak arra a megfigye-

lésre is, hogy a  $\sigma(\omega)$  minden normális plazmarezgés-modusnál, és az azok közvetlen közelében fellépő rezonancia-jelenségből is számolható, aminek alapján egy feltételezett ionrezonancia figyelembevételével kialakítható szóródási számítás módot mutattak be [17].

Az eddig közzétett érdekesebb kísérletekből [16—28] az látszik, hogy a plazma által szórt fény megközelítőleg Gauss-eloszlású, és az igen kicsiny vagy más úton egyáltalán ki sem mutatható ionok és elektronok közötti kölcsönhatásra, kollektív jelenségre utal. Némi kölcsönhatást lehetett pl. kimutatni a  $10^{16}$ — $10^{17}$  cm<sup>-3</sup> elektronkoncentrációjú, 1—2 eV elektronhőmérsékletű plazma-nyaláboknál [27].

### III. Interferometrikus törésmutató mérések

#### 1. Mérések *semleges* gázoknál

A nem extrém sűrű gázok optikai —  $\Omega$  frekvenciánál — mért  $n$  törésmutatója az

$$(n-1) = \frac{2\pi e^2 N}{m} \sum_k \frac{f_k}{\omega_k^2 - \Omega^2} \quad (39)$$

diszperziós formulával jellemezhető [29—31], ahol

$f_k$  az oszcillátor erőssége;  
 $m$  a gázatomok tömege;  
 $\omega_k$  a megfelelő szinthez tartozó frekvencia;  
 $N$  a gáz koncentrációja.

A szondázó frekvencia kiválasztásánál figyelemmel kell lenni a vizsgált gáz term-sémájára, nehogy rezonancia-hullámhosszon történjék a besugárzás. Ilyen szempontból argonnál pl. a 1066,7 és a 1048,3 Å-ös rezonancia vonalat kell kizárni. Ezekről eltekintve, és csak a második közelítést megtartva adódik — a továbbiakban most már argon esetére konkretizálva a levezetést — az ismert Cauchy-féle egyenlet [30]

$$(n-1) = 27,92 \cdot 10^{-3} + \frac{1,56 \cdot 10^{14}}{\lambda^2}, \quad (40)$$

ahol  $\lambda$  a szondázó fény hullámhossza.

Figyelembe véve azt az ismert kísérleti tényt, hogy kis nyomáson a nyomás változtatásával lineárisan változik a törésmutató [32], az

$$(n-1) = \left( 1,3 \cdot 10^{-23} + 0,58 \cdot 10^{-33} \cdot \frac{1}{\lambda^2} \right) N_A \quad (41)$$



egyenletet kapjuk, ahol  $N_A$  az argonatomból koncentrációja. Érdekes még emellett figyelembe venni a továbbiak szempontjából az igen jól használható Gladstone—Dale-formulát, amely szintén összefüggést állapít meg a törésmutató és a részecskesűrűség között:

$$(n-1) \sim 2 \pi N_A - \alpha_A^0, \quad (42)$$

ahol  $\alpha_A^0$  a polarizálhatóság.

Tekintsük most azt az esetet, amikor valamely külső behatásra az eredetileg semleges argongáz egy bizonyos fokig —  $x$  — ionizálódik, oly módon, hogy az így kialakuló plazma csak egyszerűen töltött pozitív ionokat tartalmaz, és negatív ionok nem lépnek fel benne. Ez utóbbi kikötés egyébként — argon esetén nem képez komoly megkorlátást, más gázoknál pl. oxigén, nitrogén azonban már erős kikötést jelent. Ekkor a törőközeget olyan *háromkomponensű gázkompleksumnak* tekinthetjük, amelynek *egyes komponensei*

a) a *semleges argonatomból*, amelyek  $N_A^0$  sűrűsége az  $x$  ionizációs fok segítségével az

$$N_A^0 = N_A(1 - x) \quad (43)$$

alakban adható meg, ahol  $N_A$  az ionizációt megelőzően a semleges argon atomok koncentrációja;

b) *ionizált argonatomból*, amelyek  $N_A^+$  sűrűségét az

$$N_A^+ = x \cdot N_A \quad (44)$$

összefüggés adja meg;

c) *elektronok*, amelyek egyensúlyi esetet tekintve

$$N_e = N_A^- = x \cdot N_A \quad (45)$$

koncentrációban jelentkeznek, a teljes neutralitás feltételezése mellett.

E gázkomponensek mindegyike rendelkezik valamilyen törésmutatóval és ennek megfelelő polarizálhatósággal. Ha nincsenek permanens dipolok, úgy a polarizálhatóság megegyezik a szuszceptibilitással. Kimutatható [33], hogy minden olyan esetben, amikor nem lépnek fel nagy térerősségek, és a gázkomponensek sűrűsége nem extrém nagy érték, a szuszceptibilitás-komponensek összegeződnek, és így ezek elemi matematikai összege adja a gázkeverék eredő szuszceptibilitását.

A kikötéseket megtartva, és figyelembe véve a Gladstone—Dale-formula [34] által jellemzett, törésmutató és polarizálhatóság közötti lineáris össze-

függést, az előző felsorolásban a, b, c komponensekként megjelölt alkotókat tartalmazó plazmára a következő törésmutató összefüggést adhatjuk meg:

$$(n_p - 1) = (n_A^0 - 1) + (n_A^+ - 1) + (n_e - 1), \quad (46)$$

ahol  $n_p$  a plazma törésmutatója;  
 $n_A^0$  a semleges argongáz törésmutatója;  
 $n_A^+$  az egyszeresen ionizált, pozitív töltésű argon ionok törésmutatója;  
 $n_e$  az elektrongáz törésmutatója.

E modell megalkotását dinamikusan követve figyelembe kell vennünk, hogy a levezetésnél az argon atomok kezdeti koncentrációja az ionizáció folytán mérséklődött, és emellett két új komponens, az ionok és az elektrongáz jelent meg a rendszerben, egy-egy jól definiált törésmutató-járulékkal.

Az egyszeresen ionizált argonatomok törésmutatóját természetesen direkt módon nem lehet meghatározni. Számításokat végeztek [32] azonban az argon ionok és a semleges argon atomok polarizálhatóságából képzett hányados értékére vonatkozóan. Ezek szerint a

$$0,34 < \frac{\alpha_A^+}{\alpha_A^0} < 0,72 \quad (47)$$

egyenlőtlenség áll fenn, ahol

$\alpha_A^+$  az egyszeresen töltött argon ionok polarizálhatósága;  
 $\alpha_A^0$  a semleges argonatomok polarizálhatósága.

Ismét alkalmazva a Gladstone—Dale-formulát, összefüggést kaphatunk a törésmutatókra nézve is: az ionok törésmutatója az ugyanolyan koncentrációjú semleges atomok törésmutatójának csak mintegy 34—72%-át teszi ki. A plazma azonban egy harmadik komponenst is tartalmaz, az elektrongázt, amelynek törésmutatója a plazma dielektromos állandójából számítható, abból a jó közelítést jelentő feltevésből kiindulva, hogy az elektrongáz törésmutatója megegyezik a plazma törésmutatójával.

## 2. Törésmutató mérések plazma esetén

A plazma törésmutatója egyértelmű kapcsolatban áll a dielektromos állandóval, a plazmarezgésekkel, az elektronkoncentrációval és értéke leg-egyszerűbb esetben, a Maxwell-féle hosszúhullámú közelítés alkalmazásával az

$$n = \epsilon^{1/2} = \left[ 1 - \left( \frac{\omega_{0e}}{\Omega} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (48)$$

alakban adható meg, [1] amit esetenként még szokás tovább egyszerűsíteni az

$$n \sim 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\omega_{0e}}{\Omega} \right)^2 \quad (49)$$

közelítést alkalmazva, ha az

$$\omega_{0e} \ll \Omega \quad (50)$$

feltétel teljesül, ahol  $\omega_{0e}$  az elektronok plazmafrekvenciája. Behelyettesítve a plazmafrekvencia értékét, a (48) egyenlet megszokottabb, explicit formára alakítható át:

$$(n - 1) = - \frac{2\pi N_e \cdot e^2}{m_e \Omega^2} \quad (51)$$

Ugyanez a kifejezés — a klasszikus diszperziós formula — adódik az elektrongáz optikai tartományban mért törésmutatójára is [35]. Nemesgázok esetén az (51) kifejezés pozitív, és abszolút értékét tekintve a Schuman-tartományban fellépő abszorpciós vonalak miatt lényegesen kisebb mint a szabad elektrongáz esetén. Így pl. az  $N_A^0$  koncentrációjú argongáznál az 5460 Å-ös zöld higanyvonalat használva fel szondázásra, az

$$n - 1 = + 1,046 \cdot 10^{-23} \cdot N_A^0 \quad (52)$$

az  $N_e$  koncentrációjú szabad elektronokra pedig

$$n - 1 = - 1,3 \cdot 10^{-22} N_e \quad (53)$$

Az (52) és (53) összefüggések alapján kézenfekvő az a javaslat, hogy a törésmutató mérését relatív módon végezzük el, meghatározva a semleges gáz parciális ionizálása által kiváltott törésmutató-csökkenést. Ha tehát a vizsgált gáz-térben kezdetben  $N_A^0 = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  koncentrációjú semleges argon atom van jelen, akkor a gáz törésmutatója  $n_A \sim 1,046 \cdot 10^{-7}$ . Ha a gázban  $N_e \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ -os elektronkoncentrációjú plazmát alakítunk ki, úgy az előzők szerint ez a plazma törésmutatójában egy  $-6,4 \cdot 10^{-7}$ -es nagyságrendű járulék formájában mutatkozik meg. Az ionok hatását ez esetben elhanyagoltuk, azonban a számítások szerint [36] ezzel mindössze csak 1%-os hibát követtünk el.

Ugyanilyen megfontolások alapján kimutatható, hogy az ionok hatásának elhanyagolásából adódó hiba 100%-os ionizáció esetén sokkal kisebb, mint 10%-os ionizációnál. Ez ismét annak tudható be, hogy a plazma törésmutatójának kialakulásában az elektrongáz játssza az elsődleges szerepet. E becslések további finomításánál [37] figyelembe szokás venni a helyi mikroterek hatását is, amelyek mind az elektronok, mind pedig az ionok vonatkozásában lényeges

polarizáció-növekedést idéznek elő. Ez utóbbi hatás pontos és szisztematikus felmérése mindeddig nem sikerült, holott e vizsgálatok minden bizonnyal érdekes adatokat és további finomításokat szolgáltatnának a különböző optikai hullámhosszakon történő törésmutató-mérésekhez. E módszerrel pl. szét lehetne választani a semleges atom — iongáz és az elektrongáz által előidézett törésmutató-változásokat. E szétválasztás alapjául szolgálhat, hogy az atom és ion törésmutatók a változó  $\lambda$  hullámhosszú szondázó sugárral történő vizsgálat esetén az  $1/\lambda^2$  lassan változó függvényei, az elektrongáz törésmutatója viszont  $\lambda^2$ -nel változik arányosan.

Mindezt figyelembe véve 2%-nál nem nagyobb hibát elfogadva feltételezhető [36], hogy a plazma törésmutató-változásai annak elektronkoncentráció változásaival arányosak. Plazma esetén tehát a törésmutató  $\Delta n_p$  változása a

$$\Delta n_p = \Delta(n_p - 1) = -\frac{1}{2} \left( \frac{\omega_{0e}}{\Omega} \right)^2 \quad (54)$$

összefüggés alapján jellemezhető. Ez a  $\delta$  optikai úthossz bevezetésével, a

$$\delta = n_p \cdot d \quad (55)$$

alapján, ahol  $d$  a szondázott plazmaoszlop vastagsága, a

$$\Delta \delta = \Delta n_p \cdot d \quad (56)$$

alakban adható meg. Ez az összefüggés (56) feltételezve az állandó  $d$  plazma-vastagságot, nemcsak az optikai úthossz meghatározásában fellépő hiba becsléséhez szolgál alapul, hanem egyben jellemzi a törésmutató mérések klasszikus kivitelezési lehetőségét, így az optikai úthossz különbség meghatározását is. Ez esetben azonban az optikai úthossz különbséget vagy semleges gázhoz, vagy pedig már ismert törésmutatójú plazmához (referenciaelemhez) képest mérjük.

Az optikai úthossz változás jellemzésére általában a könnyen kezelhető, de közelítő jellegű

$$\Delta \delta = (\Delta n) d \approx 4 \cdot 10^7 \frac{\lambda^2}{c^2} N_e \cdot d \quad (57)$$

összefüggést szokás használni, amelyet nem uniform plazma esetén a

$$\Delta \delta = 4 \cdot 10^7 \frac{\lambda^2}{c^2} \int_{-d/2}^{+d/2} N_e(z) dz \quad (58)$$

alakban szokás megadni [38], amely pl.  $\cos$ -jelleggel közelíthető elektron-eloszlást feltételezve az

$$\int_{-d/2}^{+d/2} N_{e_{\max}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{z - d/2}{d/2}\right) dz \quad (59)$$

alakot ölti. Ez könnyen transzformálható a

$$\int_0^d N_{e_{\max}} \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{d}\right) dz \quad (60)$$

formára, amelyből végül is

$$\Delta\delta = 4 \cdot 10^7 \frac{\lambda^2}{c^2} \left(\frac{2}{\pi}\right) \cdot N_{e_{\max}} \cdot d \quad (61)$$

adódik.

Más eloszlás feltételezésével ugyanígy kaphatunk összefüggést az optikai úthossz-különbség és az elektronkoncentráció között. Azoknál az optikai vizsgálatoknál, ahol a szondázó sugárzás hullámhossza kicsiny, valamint a sugár átmérője a plazma méretekhez képest elhanyagolható, vagyis jól kollimált sugárzás, pl. laser-sugárzás áll rendelkezésre — a sűrűség eloszlás ily módon történő közelítésére nincs is szükség, hiszen az eloszlás közvetlenül is meghatározható.

ASCOLI—BARTOLI és RASETTI [35] 2 cm sugártávolságú Jamin-interferométert használva nagynyomású higany-ívkisülésből nyert rezonancia-sugárzással argon plazma törésmutatóját vizsgálták. Ennek során egyszerű, közvetlen összefüggést állapítottak meg az interferenciacsíkok eltolódása ( $S$ ) és a törésmutató, valamint a beeső sugárzás hullámhossza között:

$$S = (n_p - 1) d \cdot \frac{1}{\lambda}, \quad (62)$$

és ennek alapján  $S = -0,06$ -ra adódott  $n - 1 = -1,03 \cdot 10^{-7}$  esetén, amiből uniform plazma feltételezésével  $7,6 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ -es elektronkoncentráció értéket számoltak. Minthogy méréseik szerint az eredetileg semleges argongáz koncentrációja  $1,8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  volt, közvetlenül meg tudták határozni a létrehozott plazma ionizációs fokát is, ami 4,2%-nak adódott. Ily módon e két plazmajellemző birtokában eléggé kiterjedt plazmafelmérés vehette kezdetét.

Az intenzív laser-sugár felhasználásával 15—20 cm-es vastagságú plazmák is könnyen vizsgálhatók. A laser-sugaras optikai módszerek egyik további előnye, hogy a mikrohullámú vizsgálatokkal szemben nagy helyi felbontást tesznek lehetővé. Egyben ezen az úton az extrém nagy koncentrációjú —

$Ne \geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  — laboratóriumi plazmák is vizsgálhatók, függetlenül attól, hogy a plazma külső villamos vagy mágneses térben van-e; a külső terek a módszer érzékenységét nem befolyásolják.

Mindezt figyelembe véve az interferometrikus laser-sugaras törésmutató-mérést feltétlenül a vörös vagy infravörös színek tartományban célszerű végezni, figyelembe véve többek között a háttér-zajok kiküszöbölését is.

Az időfelbontásos vizsgálatok a megszokott forgótükrös elrendezéssel is történhetnek. Kimutatható, hogy a hélium-neon laser  $3,391 \mu$  hullámhosszú infravörös vonalát használva az elektronkoncentrációban bekövetkező, még kimutatható változások sebessége —  $\text{cm}^{-3} \cdot \text{sec}^{-1}$  egységekben — a

$$\frac{dN_e}{dt} \sim \frac{10^{23}}{d} \quad (63)$$

alakban adható meg. E felső határ megadásánál nem a detektor paramétereinek, hanem a laser-tulajdonságoknak van meghatározó jellegük. Infravörösben előidézett interferencia esetén a felső frekvencia határ 3 MHz-nek, vörösben végzett vizsgálatoknál pedig mintegy 100 kHz-nek felel meg. Amikor néha sor kerül az infravörös sugár intenzitásának meghatározására, akkor általában indiumantimonid detektort célszerű alkalmazni. Jelöljük a  $Ne - He$  laser  $0,6328 \mu$  hullámhosszához tartozó intenzitást  $I_1$ -gyel és  $I_2$ -vel, ezekre vonatkozóan két egyenlethől álló csatolt differenciál egyenlet-rendszer írható fel [34]:

$$\frac{dI_1}{dt} = a_1 I_1 + b_1 I_1^2 + c_1 I_1 I_2 \quad (64)$$

és

$$\frac{dI_2}{dt} = a_2 I_2 + b_2 I_2^2 + c_2 I_1 I_2, \quad (65)$$

ahol az  $a_1, a_2$  tényezőben szerepel a stimulált emisszió kombinált hatása, az abszorpciós veszteség és a tükrökön fellépő veszteség; a  $b_1, b_2$  tényező a sugárzás erősségének növekedésével bekövetkező populációs inverzióbeli változást jellemzi; a  $c_1, c_2$  tényező pedig a keresztcsatolást jellemzi, vagyis az azonos felső szinten, más laser hullámhosszakon bekövetkező depopulációt.

A laser folyamathoz szükséges, hogy

$$a_1, a_2 > 0$$

legyen. Az egyensúlyi intenzitásokra —  $I_{10}, I_{20}$  — az előzők alapján a

$$I_{10} = \frac{(a_2 \cdot c_1 - a_1 \cdot b_2)}{(b_1 \cdot b_2 - c_1 \cdot c_2)} \quad (66)$$



és

$$I_{20} = \frac{(a_1 \cdot c_2 - a_2 \cdot b_1)}{(b_1 \cdot b_2 - c_1 \cdot c_2)} \quad (67)$$

egyenletek adódnak. Tegyük fel, hogy az interferencia a vörös vonal esetén (1 index) következik be, és az optikai úthossz oly módon változik meg, hogy az interferencia csíkok az  $w/2\pi$  frekvenciánál jelennek meg. Ekkor az  $I_1$  modulált intenzitást linearizált perturbációs analitikai módszerrel nyerhetjük, feltételezve, hogy az  $a_1$ -nek egy abszolút értékben kis oszcilláló tényezője is van, azaz

$$a_1 \sim \tilde{a}_1 \cdot \exp(i\omega t)$$

alakú. Az előzőek alapján ekkor

$$\tilde{I}_1 \left[ (i\omega - b_1 I_{10}) - \frac{c_1 c_2 I_{10} I_{20}}{(i\omega - b_2 I_{20})} \right] = \tilde{a}_1 I_{10} \quad (68)$$

vagy hasonló feltételezéssel élve az infravörös vonal esetén, az interferencia vörösben történő követésével az

$$\tilde{I}_1 \left[ (i\omega - b_1 I_{10}) - \frac{c_1 c_2 I_{10} I_{20}}{(i\omega - b_2 I_{20})} \right] = \frac{\tilde{a}_2 c_1 I_{10} I_{20}}{(i\omega - b_2 I_{20})} \quad (69)$$

Minthogy a két esetben csatolás áll fenn, reális kísérleti körülmények között kiköthetjük, hogy

$$\omega \ll b_2 \cdot I_{20}, \quad (70)$$

ami közös frekvencia karakterisztikához vezet, amelyet az

$$\omega_0 = \frac{a_1 b_2 - a_2 c_1}{b_2}$$

kifejezés bevezetésével

$$\frac{\tilde{I}_\omega}{\tilde{I}_{\omega=0}} = \frac{1}{1 + \frac{i\omega}{\omega_0}}, \quad (71)$$

azaz

$$\frac{\tilde{I}_\omega}{\tilde{I}_{\omega=0}} = \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (72)$$

Ha teljesül, hogy  $\omega < \omega_0$ , akkor a  $P_1$ ,  $P_2$  vörös és infravörös vonalnál bekövetkező moduláció aránya, infravörös interferencia esetén

$$\left( \frac{P_1}{P_2} \right)_{ir} = \frac{c_1 I_{20}}{b_1 I_{20}}, \quad (73)$$

és a vörösben fellépő interferenciánál

$$\left( \frac{P_1}{P_2} \right)_r = \frac{b_2 I_{20}}{c_2 I_{10}}. \quad (74)$$

A kísérletek szerint a (73) összefüggésben szereplő hányados értéke kerekben 1, a (74) egyenletben szereplőé viszont egynél sokkal nagyobb, így

$$\frac{c_1 I_{20}}{b_1 I_{10}} \sim 1 \quad (75)$$

és

$$\frac{b_2 I_{20}}{c_2 I_{10}} > 1. \quad (76)$$

E kísérleti ellenőrzésből származó két egyenlőtlenség a (64) és (65) összefüggéseket figyelembe véve azt mutatja, hogy infravörös esetben a kereszt-csatolási tényező nem jelentős, a vörös vonalnál azonban már a direkt nem lineáris kifejezéssel összevethető fontossága van.

Ha az infravörös vonalnál bekövetkező interferencia észlelésére magát az infravöröst használjuk fel, az

$$\tilde{I}_2 \left[ (i\omega - b_2 I_{20}) - \frac{c_1 c_2 I_{10} I_{20}}{(i\omega - b_1 I_{10})} \right] = \tilde{a}_2 I_{20} \quad (77)$$

összefüggés adódik, ahonnan a (70), (75), valamint (76) felhasználásával az

$$\frac{(\tilde{I}_2)_\omega}{(\tilde{I}_2)_{\omega=0}} \sim 1 \quad (78)$$

hányados kapható. Mindezek alapján az a rendkívül fontos kísérleti tény állapítható meg, hogy a frekvencia-felbontás és a frekvencia-karakterisztika ezen interferometrikus módszernél kizárólag a vörös csatorna tulajdonságai által szenved korlátozást. A frekvencia-felbontás számottevő növelését csak az infravörös fényre való teljes áttéréssel lehet elérni. Ez esetben viszont az infravörös fény modulációját direkt módon kell megfigyelni és mérni, mint azt már QUINN meg is kísérte [30], és ezáltal a felbontás felső határát 1 MHz-ig ki is terjesztette.

Az időfelbontásos laser-vizsgálatokhoz történő alkalmazhatósága bizonyos fokig korlátozott. Ennek oka a laser-egyenletekből vezethető le [40—43]:

$$\frac{\partial n_{2i}}{\partial t} = k_2 \cdot \frac{B}{\Delta \nu_N} \varrho \nu_i (n_{2i} - n_{1i}), \quad (79)$$

$$\frac{\partial n_{1i}}{\partial t} = \frac{B}{\Delta \nu_N} \varrho \nu_i (n_{2i} - n_{1i}) - n_{1i} \frac{1}{\tau}, \quad (80)$$

$$\frac{\partial \varrho \nu_i}{\partial t} = \left[ h \nu \frac{B}{\Delta \nu_N} (n_{2i} - n_{1i}) - L \frac{c}{d_l} \right] \varrho \nu_i, \quad (81)$$

ahol  $\varrho \nu_i$  a  $\nu_i$  frekvenciájú sugárzás energiasűrűsége;  
 $B$  az Einstein-féle indukált átmeneti koefficiens, amely a 2 szintről a kisebb energia-tartalmú 1 szintre való átmenetre vonatkozik;  
 $n_{2i}$ ,  $n_{1i}$  a 2, ill. 1 állapotban levő atomok koncentrációja;  
 $n_{2i}(n_{1i})$  az atomok koncentrációja a 2(1) állapotban a  $(\Delta \nu_N)$  természetes vonalszélességen belül,  $\nu_i$  laser frekvenciánál;  
 $k_2$  a másodpercenkénti gerjesztések száma;  
 $\tau$  a nívó élettartama;  
 $c$  a fénysebesség;  
 $L = 1/2 (T_1 + T_{2r}) + F$  a veszteségi tényező;  
 $F$  a laser-üregben fellépő abszorpció és szóródási veszteség;  
 $T_1$  az  $f_1$  fókusz távolságú tükör transzmissziója;  
 $T_{2r}$  a plazmaüreg transzmissziója.

A (79), (80) és (81) egyenletek felállításánál elhanyagoltuk a spontán emissziót. A (81) egyenlet  $L$  veszteségi tényezője a referencia-üreg optikai úthosszától függ. Az időfelbontás felső korlátjának jellemzéséhez azt a sugárzási sűrűségváltozást jellemző sebességet [a (81) egyenletben a  $\partial \varrho \nu_i / \partial t$  kifejezést] kell meghatározni, amely még kvázistacioner sugárzási sűrűségű állapot — egyensúlyi állapot — bekövetkezését is lehetővé teszi a  $L$  gyors változásainak függvényében. Minthogy azonban a bemutatott alapegyenletek rendszere nem lineáris, megoldásuk komoly nehézségbe ütközik, ezért azokból kiindulva közelítések alkalmazásával nyerhetünk elfogadható becsléseket.

A  $T_{2r}$  transzmissziós koefficiens maximális változási sebessége a referencia-üreg  $Q$  „jóságától” függ. Ha a gerjesztő forrást hirtelen leállítjuk, akkor az üregben tárolt energia valamely  $\tau_r$  időállandóval eltűnik, úgy hogy

$$\tau_r = Q \frac{\lambda}{2\pi \cdot c}. \quad (82)$$

Itt

$$Q = 2\pi \frac{\text{a tárolt energia maximuma}}{\text{a ciklusonként disszipálódott energia}}, \quad (83)$$

azaz

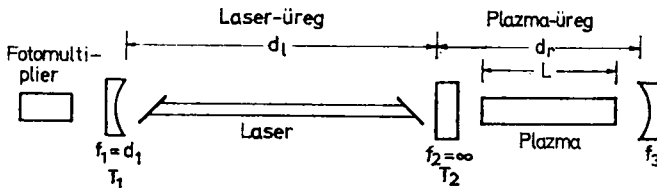
$$Q = \frac{2\pi \cdot d_r}{\lambda \left[ \frac{1}{2} (T_2 + T_{2r}) + L \right]}, \quad (84)$$

ahol  $T_2$  az  $f_2$  fókusz távolságú tükör transzmissziója;  
 $d_r$  a plazmát tartalmazó rezonátor üreg hossza.

Innen

$$\tau_r = \frac{d_r}{c \left[ \frac{1}{2} (T_2 + T_{2r}) + L \right]} \quad (85)$$

Az interferométereknél a (85) összefüggés nevezőjében szereplő szögletes zárójelben szereplő tag 1–50% között szokott lenni. Egy 100 cm hosszú üreg-



1. ábra. Az interferometrikus törésmutatóvizsgálatoknál alkalmazott mérési elrendezések egyike, amelyet az időfelbontásos plazmaparaméter-méréseknél is alkalmazni szoktak.

nél, a  $\tau_r = 3,3 \cdot 10^{-7}$  sec. Ha a veszteség 50%-ra nő, a  $\tau_r = 6,6 \cdot 10^{-9}$  sec-ra csökken. A kísérletek azt mutatták, hogy az 50%-os veszteségű referencia-üreg elég gyakori, azonban e számottevő veszteség még nem befolyásolja károsan a modulációt. A most példaként említett esetben még  $10^8$  Hz-es modulációt is sikerült elérni az 1. ábra szerinti elrendezésben.

A kisteljesítményű lasereknél — pl. a hélium-neon lasernél — a 6328 Å-ös vonal felhasználásánál az  $f_2$  fókuszú tükörnek éppen a laser-működés miatt nagy reflexióképességűnek kell lennie. Ily módon viszont romlik a rendszer frekvencia-karakterisztikája és frekvencia-felbontóképessége. Ha ellenben a hélium-neon laser infravörösben levő vonalát használjuk fel, úgy intenzív forrással rendelkezünk, a nagyobb  $T_2$  transzmisszió miatt a rendszer igen érzékeny, és így nagy felbontóképesség várható. Ha tehát a laser hatás — az  $f_2$  fókusz távolságú tükrön plazmarezonátor felé áthaladó sugár intenzitása — állandó, az  $I_1$  transzmittált sugár akkor éri el maximumát, ha a referencia-üregben rezonancia áll fenn. A (85) összefüggésnek megfelelően, ha a referencia-üreg veszteség-tényezője 50%-os, az  $I_1$ -nél fellépő időfelbontás  $10^{-8}$  sec-nál kisebb. Az egyik legnagyobb nehézség azonban az, hogy hacsak valami közbenső izolációt nem használunk az  $f_2$ -es fókuszú tükör és a referencia-üreg

között, a laser-intenzitás követi a referencia-üreg optikai-úthossz változásait. A szigetelőréteg alkalmazása azonban jelentős intenzitás csökkenéssel jár. E nehézséget végül is úgy küszöbölték ki [44], hogy a megjelölt helyen egy negyedhullám-lemezt és egy polarizátort alkalmaztak. Így módon a hullámok akadálytalanul haladhattak a laser felől a plazma üregbe, ellenkező irányban azonban csak igen komoly gyengítés árán.

Az így kialakított rendszerrel másodpercenként  $10^8$  rezonanciát lehetett kimutatni. Azáltal is lehetett pl. modulációt elérni, hogy az  $f_3$  fókuszú tükröt hangfrekvenciás úton rezgették [34]. Ilyen módon néhány MHz-es rezonancia-sugár-moduláció alakult ki. Ez esetben a felbontási korlátot elsősorban a mechanikai feltételek szabják meg. Az is megállapítható volt, hogy a hagyományos módon — amikor a lasert sugárforrásnak is és detektáló rendszernek is használják — nem lehet nagy időfelbontást elérni. Ehelyett az itt bemutatott különleges elrendezést célszerű alkalmazni, a referencia-üreg térerősség-jellemzőinek részletesebb analízise alapján. Így lehetőség nyílik olyan diagnosztikai módszer kialakítására, amely az említett feltételek mellett alkalmas a gyorsan változó plazmaparaméterek, elsősorban a plazma elektronkoncentrációjának meghatározására, még a  $10^{-8}$  szekundumos ingadozást, mint mérési korlátot is megengedve. Ez az előzők értelmében mikroszekundumonként mintegy 50 rezonancia észlelését teszi szükségessé. Az itt röviden bemutatott alapösszefüggések szerint ez az érték közel jár az elméletileg megadható felső korláthoz, a lehetséges maximális finomságú felbontáshoz.

#### IRODALOM

1. BITÓ J.: Bevezetés a kísérleti plazmafizikába. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1967.
2. ALPHER, R. A.—WHITE, D. R.: *Physics of Fluids* 2 (1959), 1962.
3. ASHBY, D. E. T. F.—JEPHCOTT, D. F.: *Appl. Phys. Letters* 3 (1963), 13.
4. WHITMER, R. F.: *Phys. Rev.* 104 (1956), 572.
5. BROWN, S. C.: Előadás az Amerikai Fizikai Társulat Plazmafizikai Szakcsoportjának 4. évi ülésén, Atlantic City; 192.
6. KING, P. G. R.—STEWART, G. J.: *New Scientist* 17 (1963), 180.
7. BOWLES, K. L.: *Phys. Rev Letters* 1 (1958), 454; *National Bureau of Standards Boulder Reports*, (1959), No. 6070.
8. DOUGHERTY, J. P.—FARLEY, D. T.: *Proc. Roy. Soc. A* 259 (1960), 79.
9. FEJÉR, J. A.: *Can. J. Phys.* 38 (1960), 1114.
10. SALPETER, E. E.: *Phys. Rev.* 120 (1960), 1528.
11. HAGFORS, T.: *Stanford Electronic Laboratories Rept.* (1960), No. 1.
12. SPRING, K. H.: *Photons and Electrons*, Methuens Monographs, London 1960.
13. DIRAC, P. A. M.: *Proc. Roy. Soc.* 111 (1926), 405.
14. KLEIN, F.—NISHINA, K.: *Z. Phys.* 52 (1929), 853.
15. LANDAU, L. D.—LIFSITZ, E. M.: *Klassische Feldtheorie*. Akademischer Verlag, Berlin 1964.
16. ROSTOKER, N.—ROSENBLUTH, M. N.: *Phys. Fluids* 3 (1960), 27.
17. ROSENBLUTH, M. N.—ROSTOKER, N.: *Phys. Fluids* 5 (1962), 776.
18. Шафранов, В. Д.: Вопросы теории плазмы (Az elméleti plazmafizika egyes kérdései); 3. Госатомиздат, Москва 1963.
19. RUSANOV, W. D.: *Methoden der Plasmadiagnostik*, Akademie Verlag, Berlin 1965.
20. Франк-Каменецкий, Д. А.: Физические процессы внутри звезд (A csillagok belsejében végbemenő fizikai folyamatok). Физматгиз, Москва 1959.

21. FÜNFE, E.—KRONAST, B.—KUNZE, H. J.: *Phys. Rev. Letters* 5 (1963), 125.
22. HUGHES, T. P.: *Nature* 194 (1962), 268.
23. FIOCCO, G.—THOMPSON, E.: *Phys. Rev. Letters* 10 (1963), 89.
24. DAVIES, W. E. R.—RAMSDEN, S. A.: *Phys. Letters* 8 (1964), 169.
25. KUNZE, H. J.—FÜNFER, E.—KRONAST, B.—KEGEL, W. H.: *Phys. Letters* 11 (1964), 42.
26. ASCOLI—BARTOLI, U.—KATZENSTEIN, J.—LOVISETTO, L.: *Nature* 204 (1964), 672.
27. AHLBORN, B.: *Z. Naturforschung* 20 (1965), 466.
28. CHAN, P. W.—NODWELL, R. A.: *Phys. Rev. Letters* 16 (1966), 122.
29. BROWN, M.—WOLF, E.: *Principles of Optics*. Pergamon Press, New York 1959.
30. JENKINS, F. A.—WHITE, H. E.: *Fundamentals of Optics*. McGraw-Hill Book Co., New York 1957.
31. *Energy Processes in Shock Waves*, Vol. I. RADC—TDR—64—269 (1963).
32. ASCOLI-BARTOLI, U.—DE ANGELIS, A.—MARTELLUCCI, S.: *Nuovo Cimento* 17 (1960), VI.
33. HIRSCHFELDER, K.—CURTIS, I.—BIRD, J.: *Molecular Theory of Gases and Liquids*. John Wiley and Sons, New York 1954.
34. GERARDO, J. B.—VERDEYEN, J. T.—GUSINOW, M. A.: *J. Appl. Phys.* 36 (1965); VII, 2146.
35. ASCOLI-BARTOLI, U.—RASETTI, F.: *Nuovo Cimento* 13 (1959); VI, 1296.
36. MORIN, T. J.—PEACOCK, G. R.: *Air Force CRL Contract* (1964); No. AF 19(604), 8462.
37. ALPHER, R. A.—WHITE, D. R.: *Phys. Fluids* 2 (1959), 2.
38. WHARTON, C. B.—SLAGER, D. M.: *CRL* (1958), 5244.
39. ASHBY, D. E. F.—JEPHCOTT, D. F.—MALEIN, A.—RAYNER, F. H.: *J. Appl. Phys.* 36 (1965); I, 29.
40. GERARDO, J. B.—VERDEYEN, J. T.—GUSINOW, M. A.: *Theory of the laser interferometer and its use in plasma diagnostics*. Scientific report, University of Illinois, 1964; No. 1. Grant. No. DA—ARO—D—31—124-G 582.
41. BAKER, D. A.—HAMMEL, J. E.—JAHODA, F. C.: 6th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics of the American Physical Soc., New York 1964; M6.
42. DOUGAL, A. A.—CRAIG, J. P.—GRIBBLE, R.: *Appl. Phys. Letters* 4 (1964), 156.
43. YARIV, A.—GORDON, J. P.: *Proc. IEEE* 51 (1963), 4.
44. JENKINS, F. A.—WHITE, H. E.: *Fundamentals of Optics*. McGraw-Hill Publ., New York 1950.
45. Душин, Л. А. — Павзикенко, О. С.: *Исследование плазмы с помощью лазеров*. Атомиздат, Москва 1968.

**Plasma Diagnostics with Laser Beams.** The author gives a critical survey of the two characteristic groups of the plasmadiagnostic methods with laser beams, that is to say, of the dispersion and interferometric measurements. He gives the basic connections, causing the dispersion phenomena, and also the calculation methods of the plasma characteristics on this basis. Starting from the basic connexions of the measurements of the interferometric refractory index, carried out with neutral gases, he characterizes this method in the case of gases, in plasma state, ionized in different ways. He makes comparison between the spectral methods and the methods with laser beams and also characterizes the space and time resolution which can be gained by the latter method.

**Plasma Diagnostik mit Laser-Strahl.** Der Verfasser gibt einen kritischen Überblick über die zwei charakteristischen Gruppen der plasmadiagnostischen Methode mit Laser-Strahl: über die Dispersions- und Interferometer-Messungen. Er gibt die die Dispersionserscheinungen erklärenden Grundzusammenhänge und die Kalkulationsmethode der Plasma-Charakteristiken auf Grund derselben an. Ausgehend von den Grundzusammenhängen der Interferometer-Messungen mit dem Brechungsindex, charakterisiert er die Methode für die auf verschiedene Weise ionisierten Gase im Plasma Zustand. Er vergleicht die Spektralmethode und die Methode mit dem Laser-Strahl miteinander und charakterisiert außerdem die mit den letzteren Methoden erreichbaren Raum- und Zeitablösung.





# A REUSS-FÉLE KÉPLÉKENYSÉGELMÉLET EGY VÁLTOZATA\*

V. SZ. LENSZKIJ\*\*

EGYETEMI TANÁR

[Beérkezett 1969. ápr. 16.]

1. REUSS E. az általa 1930-ban javasolt képlékenység elméletben [1] az alakváltozási sebesség deviátorát két tag összegeként írja fel. Az első tag a feszültség-deviátor változási sebességének lineáris függvénye és rugalmas alakváltozást ír le; a második tag képlékeny alakváltozást jelent és lineárisan függ a feszültség-deviátortól.

Az  $\bar{e}_n$  ortogonális egységvektorú 5-dimenziós  $E_5$  euklideszi térben a kis alakváltozás  $e_{ij}$  deviátora az alakváltozás vektoraként írható fel [2]:

$$\bar{e} = \sum_{n=1}^5 e_n \cdot \bar{e}_n, \quad (1)$$

amelynek  $e_n$  összetevői az  $e_{ij}$  komponensekkel

$$e_1 = e_{11}, \quad e_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}(e_{22} - e_{33}),$$

$$e_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} e_{12}, \quad e_4 = \frac{2}{\sqrt{3}} e_{23}, \quad e_5 = \frac{2}{\sqrt{3}} e_{31}$$

kapcsolatban állnak.

Az alakváltozási deviátor változásának folyamatát az alakváltozási vektor hodográfjával szemléltetjük, amelyet az alakváltozás trajektóriájának nevezünk. Az alakváltozási vektor abszolút értéke az alakváltozás intenzitásával egyenlő:

$$|\bar{e}_n| = \varepsilon_i, \quad \text{ahol} \quad \varepsilon_i = \left( \frac{2}{3} e_{ij} e_{ij} \right)^{1/2}.$$

\* Közlésre javasolta a Moszkvai Állami Egyetem Rugalmasságtani Tanszéke az 1968. május 10-én elhunyt REUSS ENDRE professzor emlékére.

\*\* Moszkvai Állami Egyetem, Rugalmasságtani Tanszék.

Hasonlóképpen, az  $\bar{s}_n$  ortogonális egységvektorú  $\Sigma_5$  5-dimenziós térben az  $S_{ij}$  feszültség-deviátort a

$$\sigma = \sum_{n=1}^5 s_n s_n \quad (2)$$

feszültségvektorral állítják elő, amelynek összetevői

$$s_1 = \frac{3}{2} S_{11}, \quad s_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} (S_{22} - S_{33}),$$

$$s_3 = \sqrt{3} S_{12}, \quad s_4 = \sqrt{3} S_{23}, \quad s_5 = \sqrt{3} S_{31}$$

kapcsolatban állnak a feszültség-deviátorral, a feszültségvektor abszolút értéke pedig a feszültségintenzitást fejezi ki:

$$|\bar{\sigma}| = \sigma_i = \left( \frac{3}{2} S_{ij} S_{ij} \right)^{1/2}.$$

A feszültségvektor hodográfját a terhelés trajektóriájának nevezzük.

E jelölésekkel a Reuss-féle képlékenységtétel

$$2 \dot{G} \bar{e} = \dot{\bar{\sigma}} + \varphi \bar{\sigma} \quad (3)$$

alakban írható, ahol  $G$  csúsztató rugalmassági tényező,  $\varphi$  — a feszültségintenzitás univerzális függvénye, a pont pedig egy olyan paraméter szerinti differenciálást jelent, mint az alakváltozási trajektória ívhossza.

Ez az elmélet logikájával és egyszerű felépítésével hívja fel magára a figyelmet, bár a feladatok megoldásakor matematikai nehézségekhez vezet. A kísérleti adatokra alapuló kritika ellenére a kutatók több ízben visszatérnek ezen elmélet tanulmányozásához, korszerűsítésének, a kísérletekkel való jobb egyezés elérésének szándékával. Az alábbiakban a szovjet iskola kutatásain alapuló egyik lehetséges változatot mutatjuk be.

2. A feszültségi és alakváltozási állapot közötti összefüggés általános alakja — tetszőlegesen bonyolult alakváltozás mellett — A. A. ILJUSIN izotropitás posztulátumából [2, 3] következik és

$$\bar{\sigma} = \sum_{n=1}^5 P_n \bar{p}_n \quad (4)$$

alakban írható, ahol  $\bar{p}_n$  — lényegében az alakváltozási trajektória természetes lokális koordinátarendszerének egységvektorai:

$$\bar{p}_1 = \frac{d\bar{e}}{ds}, \quad \bar{p}_2 = \frac{1}{\kappa_1} \frac{d^2 \bar{e}}{ds^2}, \dots, \bar{p}_5.$$

A (4) képletben szereplő együtthatók a megelőző alakváltozási trajektória belső geometriájának funkcionáljai,

$$P_n = P_n \{ \chi_m(s') \}_n^s,$$

ahol  $\chi_m$  — az alakváltozási trajektória görbülete,  $s$  — az ívhossza.

Mivel az izotrópitás posztulátumát kísérleti úton megbízhatóan ellenőrizték [7, 8], a képlékenységlelmélet lezárásának feladata — tetszőlegesen bonyolult terhelés mellett — az öt  $P_n$  funkcionál vizsgálatához vezet. E funkcionálok tulajdonságainak elméleti tanulmányozása részben már megtörtént [3, 9]. A  $P_n$  funkcionálok közvetlen kísérleti tanulmányozása általános alakban rendkívül nehézkes, ezért az általános képlékenységlelmélet fejlesztése mellett felmerül egyszerűsített változatok kidolgozásának szükségessége is. Ez utóbbiak két csoportba oszthatók.

Az első csoportba soroljuk a képlékenységlelmélet ama változatait, amelyek pontosak (az általános elmélet pontosságának határain belül), viszont a folyamatoknak csak bizonyos osztályaira érvényesek. Ezek az elméletek az általános elmélet kiindulási feltevésein, posztulátumain alapulnak. Jelenleg a feszültségi és az alakváltozási állapot közötti összefüggések vonatkozásában három ilyen elmélet tekinthető befejezettnek: a kis rugalmas-képlékeny alakváltozások elmélete [4] (egyszerű alakváltozású folyamatokra), kis görbületű [3, 7] valamint a törtvonalakból álló alakváltozási trajektóriákkal leírható folyamatok elmélete [7].

A második csoportba soroljuk a képlékenység-elmélet ama változatait, amelyek az általános elmélet pontossági határain belül közelítőek ugyan, de nem korlátozódnak a folyamatok meghatározott osztályaira. Az ilyen elméletek megalapozásához további hipotézisek megfogalmazására és e hipotézisek pontosságának megítélésére van szükség. Vizsgáljunk meg néhányat az e csoportba tartozó elméletek közül.

3. A lokális meghatározottság hipotézise [6, 7] állítja, hogy a feszültségvektor növekményét magának a vektornak az alakváltozási trajektória következő (és nem megelőző) eleméhez viszonyított orientációja, ennek az elemnek a belső geometriája, a feszültségvektor pillanatnyi abszolút értéke és a megelőző alakváltozási trajektória ívhossza határozza meg. Ezt a hipotézist kísérletileg ellenőrizték [6, 10, 11] és megállapították, hogy az egyezés pontossága mintegy 8%. Ebből a hipotézisből következik, hogy a feszültségvektor megváltozása minden olyan alakváltozási trajektórián azonos, amely az adottból a pillanatnyi feszültségvektorhoz viszonyított forgatás vagy tükrözés révén adódik. Ez, többek között, fennáll bármilyen egyenesvonalú alakváltozási trajektóriára, amely a folyamat vizsgált pillanatában a feszültségvektorra merőleges.

Legyen  $\varepsilon = 1$  a folyási határfelület (folyási felület) egyenlete az  $E_5$  alakváltozási térben. Ha feltesszük, hogy ez a felület a trajektória kérdéses

pontjában reguláris, akkor a feszültségvektornak e felületre merőlegesnek kell lennie. Ez az  $E_5$  alakváltozási térben

$$\bar{\sigma} = D \text{ grad } \varepsilon \quad (5)$$

gradientalitási egyenlethez vezet. Itt az izotropitás posztulátumának megfelelően,  $D$  és  $\varepsilon$  a megelőző alakváltozási trajektória belső geometriájának funkcionálja. Ha a pillanatnyi  $\varepsilon = 1$  határfelület kúpponttal bír, akkor a  $\bar{\sigma}$  vektor a kúp tengelye irányába mutat. A rendelkezésre álló kísérleti adatok értelmében a határfelület reguláris.

Ily módon a feladat két funkcionál —  $D$  és  $\varepsilon$  — elméleti és kísérleti vizsgálatához vezet. További egyszerűsítés eszközölhető ama kísérletileg megállapított tény alapján, amely szerint az alakváltozási trajektóriák többségénél — kivéve a  $\pi/2$ -hez közel eső törésszögű vagy a nagyon kusza trajektóriákat — a feszültségvektor abszolút értéke az adott anyagra nézve univerzális, a legegyszerűbb alakváltozási trajektória kísérletek alapján meghatározható alakú ívhosszának a függvénye. Ezt figyelembe véve:

$$|D \text{ grad } \varepsilon| = \Phi(s), \quad (6)$$

azaz csak egy, pl. az  $\varepsilon$ , funkcionál vizsgálata marad hátra.

4. A képlékenységi posztulátuma [5] azt állítja, hogy a feszültség vagy az alakváltozás szerint zárt ciklusban a feszültség által végzett munka nem negatív. Attól függően, hogy a ciklus melyik térben ( $\Sigma_5$  vagy  $E_5$ ) zárt, kétféle gradientalitási összefüggéshez jutunk:

$$\begin{aligned} (G)\dot{\varepsilon} - \dot{\bar{\sigma}} &= \lambda \text{ grad } \varepsilon, \\ \dot{\varepsilon}p + (\dot{g})\bar{\sigma} &= A \text{ grad } F. \end{aligned} \quad (7)$$

Itt  $(G)$  — az alakváltozási anizotropia mátrixa, azaz  $\bar{\sigma} = (G)\bar{\varepsilon}^e$ ,  $(g)$  pedig a reciprokomatrica, vagyis  $\bar{\varepsilon}^e = (g)\bar{\sigma}$  és  $(G)(g) = 1$ . A  $\lambda$  és  $A$  együtthatók az alakváltozási vagy terhelési trajektória belső geometriáját jellemző paramétereknek funkcionáljai; ugyanakkor  $F = 1$  a pillanatnyi határfelület egyenlete a  $\Sigma_5$  feszültség-térben. A  $(\dot{g})$  szimbólum a  $(g)$  mátrixnak az  $s$  ívhossz szerinti deriváltját jelzi. Mindkét esetben a pont az  $s$  szerinti differenciálást jelent, amiből következik, hogy  $d\Sigma/ds \neq 0$ , ahol  $\Sigma$  — a terhelési trajektória ívhossza a  $\Sigma_5$  feszültség-térben. Szigorúan véve ez csak keményedő anyagokra érvényes (a nem keményedő anyagok képlékenységi elmélete általában egyszerűbb).

Tekintettel arra, hogy

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}^p + \dot{\varepsilon}^e = \dot{\varepsilon}^p + (\dot{g})\bar{\sigma} + (g)\dot{\bar{\sigma}},$$

a (8) egyenlőség

$$\dot{\bar{e}} - (g)\dot{\bar{\sigma}} = A \text{ grad } F$$

alakba írható át. Balról  $(G)$  mátrixszal szorozva a

$$(G)\dot{\bar{e}} - \dot{\bar{\sigma}} = A(G) \text{ grad } F \quad (9)$$

egyenlőséget kapjuk. Összehasonlítva a (9) és (7) egyenlőségeket, azon függvények közötti természetes összefüggést kapjuk meg, amelyek az  $E_5$  és  $\Sigma_5$  terekben a pillanatnyi határfelületek alakjait meghatározzák:

$$\text{grad } \varepsilon = \frac{A}{\lambda} (G) \text{ grad } F, \quad (10)$$

következésképpen az (5) összefüggés

$$\bar{\sigma} = Q(G) \text{ grad } F \quad (11)$$

alakban írható, ahol  $Q = DA/\lambda$ . megszorozva  $(g)$  mátrixszal a (11) egyenlőséget, kapjuk:

$$\bar{e}^e = Q \text{ grad } F. \quad (12)$$

A (11) és (12) egyenlőségek világosan mutatják: az alakváltozási anizotrópia elhanyagolása arra a következtetésre vezet, hogy a feszültségvektor merőleges az  $F = 1$  pillanatnyi határfelületre. Ez ideálisan képlékeny anyagra nyilvánvaló, a keményedő anyagnál pedig a reálisnak éppen nem mondható izotróp keményedés hipotézisének felel meg. Ez indokolja az alakváltozási anizotrópia figyelembevételének fontosságát.\*\*

5. Összehasonlítva most az (5) és (7) egyenlőségeket, azt kapjuk, hogy

$$(G)\dot{\bar{e}} = \dot{\bar{\sigma}} + L\bar{\sigma}, \quad (13)$$

ahol  $L$  — az alakváltozási trajektória belső geometriájának funkcionálja. A (13) összefüggés az általánosított Reuss-elmélet, amelynek lezárása a  $(G)$  mátrix-funkcionál és az  $L$  skalár-funkcionál vizsgálatát teszi szükségessé. Ha az alakváltozási anizotrópiát elhanyagoljuk, akkor a  $(G)$  mátrixszal való szorzást a  $2G$  saklármenyiséggel történő szorzás váltja fel. Ebben az esetben a feladat csak egyetlen, az  $L$  funkcionál vizsgálatához vezet.

\*\* A szerzőnek a Budapesti Műszaki Egyetemen 1967 decemberében elhangzott előadását követő vita során Reuss E. professzor is komoly jelentőséget tulajdonított az alakváltozási anizotrópiának.



Így tehát a Reuss-féle képlékenységi elmélet a (13) általánosított alakban egy tetszőlegesen összetett terhelési folyamat leírására alkalmas elmélet közéltő változatának tekinthető.

Ezen elmélet alapján néhány alakváltozási trajektóriára számításokat végeztünk. E trajektóriák kísérleti meghatározása a kísérleti és számítással nyert adatok teljesen kielégítő egyezését szolgáltatta [10, 11].

**Study on the Plasticity Theorem of REUSS: Setting down an Alternative Formulation.**

Among others, the researchers of the Soviet Mechanical School are also busy in furthering the implications of REUSS'-s Plasticity Theory, as was proposed in 1930. Based on the Isotropy-Postulate established by A.A. ILYOUTCHINE, a newly generalized alternative formulation of the urentioned theorem is presented in this paper.

**Eine alternative Formulierung des REUSS-schen Plastizitätstheorems.** Die von E. REUSS im Jahre 1930 vorgeschlagene Plastizitäts-Theorie bildet den Gegenstand einer weiteren Entwicklung unter anderen auch im Rahmen des Arbeitsprogramms der Sowjetischen Mechanischen Schule. In dieser Abhandlung wird auf Grund des von A. A. ILYUTSCHIN eingeführten Isotropitäts-Postulats eine verallgemeinerte Form des REUSS-schen Plastizitätstheorems aufgezeigt.

# A FORGÓGÉPEK ÉS TRANSZFORMÁTOROK TUDOMÁNYTERÜLETÉNEK HAZAI HELYZETE\*

AZ ELEKTROTECHNIKAI AKADÉMIAI BIZOTTSÁG MEGBÍZÁSÁBÓL

BOGDÁN MIHÁLY

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

és

SZÉKELY ISTVÁN

[Beérkezett 1969. július 30-án]

A tanulmány az erősáram két fontos gyártási ágazatának Magyarországon elért tudományos színvonalát értékeli. A forgógépekkel kapcsolatban ismerteti a gépkihasználás növelése érdekében végzett kutató-fejlesztő munkát (kiemelkedő eredmények a hűtés területén, a szigeteléstechika fejlődése, mechanikai kutatások, elméleti és gyakorlati eredmények a kommutáció és a többletvesztések területén). Részletesen foglalkozik a szabályozás- és hajtástechnika fejlődésével, az erősáramú elektronika térhódításával, majd röviden a forgógépek tudományterületének egyéb eredményeivel (rezgések, zaj, különleges forgógépek). A transzformátorok vonatkozásában elsőrendű a nagyfeszültségű technika fejlődése (kutatási és gyakorlati eredmények a lökőfeszültségeloszlás és a szigetelőszerkezetek terén, az olajokkal kapcsolatban stb.). Említésre méltó eredményekről számol be a tanulmány a veszteségek és a hűtés területéről. Ez után foglalkozik többek közt a zárlathibbiztonság, a zajcsökkentés és a különleges transzformátorok kutatási-fejlesztési kérdéseivel.

## I. Bevezetés

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya tájékoztató helyzetfelmérést kért az egyes tudományterületek hazai állapotáról. E kérésre készült a forgógépek és transzformátorok tudományterületének felmérése. Az elvi tanulságok szempontjából a két terület sok hasonlóságot mutat, ezért célszerű azok együttes ismertetése.

Hazánkban nincs olyan kutatóintézet, amely kifejezetten forgógépek vagy transzformátorok kutatásával foglalkoznék. Az ilyen irányú tevékenységet alapjában véve a gyárak látják el. A forgógépek területén érdekelt gyárak, a Ganz Villamossági Művek, az Egyesült Villamosgépgyár és az ikladi Ipari Műszergyár, de kisebb mértékben más gyártó helyek is, így pl. a Finommechanikai Vállalat, a Gamma Művek, a MIREŐZ Diesel- és Hűtőtechnikai Ktsz stb. A transzformátorok legfőbb gyártói a Ganz Villamossági Művek és a Csepeli Transzformátorgyár, de különleges transzformátorokat készítenek a Villamos Berendezés és Készülék Művekben, valamint a Transzformátor Ktsz-ben és másutt is. A gyártók egyes témákban együttműködnek kutató-

\* A forgógépekre vonatkozó tájékoztató szerzője Bogdán Mihály és Székely István, a transzformátorokra vonatkozó tájékoztató szerzője pedig Székely István. A tájékoztatókat 1968 tavaszán vitatta meg az Elektrotechnikai Akadémiai Bizottság, így a legújabb eredmények e közleményből hiányoznak.

\* Ganz Villamossági Művek, Lövház u. 39. Budapest II.

intézetekkel és más kutatóhelyekkel. Az elmondottakból is következik, hogy a hazai kutatás és fejlesztés természetesen azokra a területekre korlátozódik, amelyek a gyártó ipar profiljában szerepelnek.

A fejlesztő és kutató tevékenységet nem lehet élesen elválasztani. Ezért e beszámolóban olyan témákkal és eredményekkel foglalkozunk, amelyek világszerte előtérben állnak, függetlenül attól, hogy a hazai munka az illető témákban kutatási vagy fejlesztési szintűnek nevezhető-e. Az anyagot mind a forgógépekről, mind a transzformátorokról szóló fejezetekben témakörök szerint csoportosítottuk.

## II. A hazai tudományos színvonal a forgógépek területén

### 1. A gépkihasználás növelése

Az egyre növekvő teljesítmények és egyéb igények (pl. gyakori indítás, gyors terhelésváltozás) a szerkezetek és anyagok egyre fokozódó kihasználását, a konstrukciók és technológiák rohamos fejlesztését teszik szükségessé. Világszerte fő kutatási irány a hűtés, a szigeteléstechika, a mechanikai problémák megoldása, a kommutáció és a többletvesztések kérdése.

A hűtés a villamosforgógépeknél mindig alapvető fontosságú volt. Ma különös jelentőséget kap a legnagyobb teljesítményű turbógenerátoroknál, ahol kb.  $300 \div 500$  MW felett világszerte új utakat keresnek. Hasonlóan alapkérdés a hűtés más nagy szinkrongépeknél is (pl. a szinkronkompenzátoroknál, nagyteljesítményű csőturbínás generátoroknál). A kötött hely miatt a hűtés szabja meg a járművek gépeinek és ezen keresztül a járműveknek a határteljesítményét is (természetesen más, pl. mechanikai, kommutációs kihasználási jellemzőkkel együtt). A szabadtéri vagy egyéb okokból zárt nagy teljesítményű gépek elterjedése fokozott hűtést kíván. A hűtés javítása a legtöbb esetben a hagyományostól eltérő megoldással történik (ilyen pl. a vezetők közvetlen hűtése hidrogénnel vagy vízzel). A teljesen zárt levegőhűtésű nagymotoroknál még nem alakult ki a hagyományos csöves hűtést felváltó legcélszerűbb megoldás. A gyakorlati kivitel szempontjából nem hanyagolhatók el a hűtési rendszerrel járó gyártástechnológiai problémák és figyelembe kell venni az üzemben várható rontó tényezőket is; ezenkívül fontos a legnagyobb hőmérsékletű pontok külön vizsgálata és a hőmérséklet egyenletessé tétele.

A magyar fejlesztés kiemelkedő eredményt mutathat fel a turbógenerátor-forgórészek javított közvetlen hidrogénhűtésével (a *Ganz Villamossági Művek* megoldása), amely a másutt e célra kialakított rendszerekkel fölényesen felveszi a versenyt: alkalmas kb. 1000 MW teljesítményig vízhűtés nélküli turbógenerátor-forgórészek kialakítására. A megoldás hazai hasznosítása jelentőségéhez képest a magyar ipar adottságai miatt aránylag szűkkörű. A szovjet *Elektroszila* gyár 800 MW-os turbógenerátorát ilyen rendszerrel készíti. Ugyan-

ennek a problémának a világszínvonalon történő, vízűtés útján való megoldásával *dr. Seidner Mihály* akadémikus foglalkozott. Komoly eredményként könyvelhető el a turbógenerátoroknál és más, viszonylag hosszú gépeknél bevezetett, szintén saját megoldást képező tangenciális szellőzés. A *Ganz Villamossági Művek* emellett a siker reményével foglalkozik a teljesen zárt gépek (elsősorban az aszinkron gépek) levegőűtésű változatának lényegesen jobb kihasználású megoldásával is. Sok saját megoldást próbált ki és vezetett be a gyár a vasúti gépeknél is. Az eredmények inkább néhány igen jó gondolat kísérletek után történt valóra váltásából születtek, mintsem hosszú kutatások folyamányaként.

Hasonlóan alapvető terület a *szigeteléstechika*. A gépek kihasználása és a környezeti viszonyok hőállóbb, külső behatásnak jobban ellenálló szigeteléseket kívánnak. Emellett kevésbé szembetűnő, de fontos tendencia, hogy jóval nehezebb üzemi viszonyok (pl. komoly mechanikai igénybevételek) ellenére a szigeteléstől a régi megoldásokkal azonos élettartamot követelnek. (Az élettartam témája önmagában is több, nehéz kutatási kérdést vet fel.) Ezenkívül a korszerű szigeteléstől olyan tulajdonságokat kívánunk, amelyek a méretek csökkentését teszik lehetővé (pl. műgyantával itatott, folyamatos állórész-tekercs szigetelés). A kérdések bonyolultak, mert egyidejűleg vegyi, villamos, mechanikai és hőtechnikai szempontokat kell kielégíteni. A magyar viszonyokra az a jellemző, hogy a legkényesebb helyekre szükséges, kis mennyiségű szigetelőanyagokat idehaza nem gyártjuk és így a fő hangsúly az alkalmazáson van (ahol a felsorolt szempontok szerinti kutatás a külföldi gyárak tanácsadó szolgálata ellenére is szükséges éppen azokon a területeken, amelyek ma világ-szerte fejlődési stádiumban vannak).

A *Ganz Villamossági Művek* sikerrel alkalmazza az *F* osztályú szigeteléseket (kezdetben vasúti gépeknél, ma már egyre általánosabban). Az *Egyesült Villamosgépgyárban* gyártott kis gépek *F* osztályú szigetelése még nincs megoldva. A *Ganz Villamossági Művek* nagy váltakozóáramú gépeinek állórész-szigeteléseként újabban kezdik bevezetni a hőrekeményedő gyantával itatott szigetelést, ami egyike a legkorszerűbb irányzatoknak. A *Villamosipari Kutató Intézet* kísérleteket folytat a jelenleg importált üveghandázs hazai előállítására. A kisebb gépeknél jelentős eredmény a magyar zománc hőállóságának és mechanikai tulajdonságainak javítása. A magyar ipar sikerrel szállít ilyen szigetelésű gépeket trópusi vidékekre, főleg a külföldi vizsgálati eredmények felhasználásával. A szigeteléstechika területén tehát főként reprodukáló kutatási és alkalmazástechikai kísérletek folynak; teljesen új irányok kutatásával tulajdonképpen nem foglalkozunk.

A *mechanikai problémák* sok esetben a villamos problémáknál nagyobb súllyal esnek latba. A teljesítmény-határokat turbógenerátoroknál, szinkron-kompenzátoroknál, vasúti gépeknél és más esetekben is a forgórész elemeinek mechanikai igénybevétele szabja meg (horonyékek, bandázs-sapkák stb.).

A sebességek növekedésével a vasúti gépek egyes elemeinek (pl. a kefetartóknak) a rezgése döntő tényezője lehet az üzembiztonságnak. A turbógenerátor-forgórész tekercsfejek, a kommutátorok, a szinkrongépek és a gyakori indítású nagymotorok állórész-tekercsfejei olyan részek, amelyekben a szigetelés és a mechanikai szilárdság szempontjai együtt veendő figyelembe, ahol pedig ma a kutatás világszerte folyik üzembiztosabb megoldások érdekében. A mechanikai problémák egyébként más esetekben is ugyancsak komplex problémák (pl. kalickáknál az indítások okozta hőhatás, a röperő és a gyártás technológiájából eredő kezdeti igénybevétel egyenlő szerepet játszik).

Hazánkban több témakörben folyik üzemi szintű kutatás és kísérletezés. A *Ganz Villamossági Művekben* számos alkalmazási területen korszerű számítási és mérési módszerek állnak rendelkezésre, a gyárban feszültségoptikai vizsgálatokat végeznek és több esetben (a műegyetemek közreműködésével) fárasztó kisminta-kísérleteket is végeznek. A gyár kedvező eredményeket mutathat fel pl. a kommutátorok, a turbógenerátor-horonyékek, a kereszt-tekercses turbógenerátorok karjai és a kalickák területén. Kevés gyár dicsekedhet annyi turbógenerátor zárlati-próbával, mint amennyit a *Ganz Villamossági Művek* 5—10 évvel ezelőtt elvégzett. Próbalehetőség hiányában nem folyt élettartamkísérleteket is magában foglaló kutatómunka a közvetlen indítású nagymotorok területén, bár a mérés technikai felkészülés a gyár részéről megtörtént.

A *kommutációnak* (és általában a kommutátor villamos kihasználásának) a legfontosabb elméleti alapok 30—40 éve való tisztázottsága ellenére az egyenáramú és hullámos áramú gépeknél is számos, ma különösen fontos gyakorlati — de kutatást igénylő — problémája tisztázatlan. Az egyenáramú gépek reneszánsza hozza meg a régi elméletből adódó gyakorlati lehetőségek (óvatos és igen lassú) kihasználását világszerte (pl. a többjáratú hurkos tekercselés révén adott átmérőhöz tartozó határteljesítmény felemelése, a segédpólusok optimális méretezése). Még nem teljesen lezárt kérdés a hullámos áramú táplálás és a gyors terhelésváltozás hatása. Bonyolítja a helyzetet a kefe-minőség és a kefeszerkezet nem eléggé tisztázható befolyása. Hiányzik kiforrott objektív értékelési módszer.

A szerény kísérleti alapok ellenére a *Ganz Villamossági Művek* e téren kedvező helyen áll. Sikerrel alkalmazza a segédpólusok klasszikus méretezési módszerét (sok nagy külföldi gyár ma is empirikus módszert használ), új típusoknál rendszeresen vizsgálja a sötét zóna szélességét és jó eredményt ért el nagy kétjáratú géptípusaival. A gyár gépei kedvezőknek mutatkoztak hullámos áramú táplálás és gyors terhelés-változás szempontjából. Készül a kommutáció objektív vizsgálatára szolgáló — rutinvizsgálatra is alkalmas — berendezés. Nehezebb üzemre alkalmas kefék és kefetartók fejlesztése nem folyik, ezeket importáljuk. A gyártási profilnak megfelelően nem foglalkozunk a váltakozóáramú kommutátoros gépek kommutációs kérdéseivel.

A *többletveszteségek* régóta ismert, de számítással és méréssel általában alig követett jelensége a nagy kihasználású gépek megjelenésével fontossá vált. E veszteségek nagy turbógenerátorok tekercsfejeiben, nyitott hornyú és kis légrésű gépek kalickáiban, néha egyenáramú gépek armatúrájában, de másutt is döntőek lehetnek a helyi melegedés (és ezen keresztül a gép teljesítménye, az üzembiztonság, a megengedett indítások száma stb.), valamint gyakran a hatások szempontjából is. Itt említjük meg, hogy a kellő időben való üzemszerű kipróbálás érdekében (tehát a többlet-veszteségeken kívül számos más kérdés tisztázására is) mind a leningrádi *Elektroszila*, mind a harkovi *Elektrotyazsmas gyár* hozzáfogott saját laboratóriuma részére 1000—1200 MW-os terhelő berendezés létesítéséhez, amellyel a legnagyobb turbógenerátorok is teljes terheléssel a gyárakban kipróbálhatók, szükség esetén huzamos ideig is.

Ehhez képest a magyar géplaboratóriumok — azaz teljes gépek és gépcsoportok villamos, mechanikai, hőtechnikai, tartam- és egyéb vizsgálataira berendezett laboratóriumok — hiánya is utal arra, hogy a többletveszteségekkel és hasonló kérdésekkel alig foglalkoztunk. Mind a turbógenerátorok tekercsfej-tereiben, mind a kalickás és csúszógyűrűs aszinkron-gépeken történtek érdekes mérések, sőt javaslat született általánosan használandó próbatermi mérési módszerre is, de rendszeres kutatás ezen a területen nem folyik. Az erőltetett kihasználású gépek konstrukciói e szempontból inkább elvi megfontolások alapján jönnek létre.

## 2. Szabályozott áramforrások és hajtások

A korszerű fordulatszám-szabályozások és a különféle célú generátorokkal szemben támasztott követelmények szükségessé teszik a gépekkel jól összehangolt elektronikus szabályozóberendezések alkalmazását. A félvezetőanyagokra épülő szabályozástechnikai elemek megjelenése és tömeggyártásba vétele az egész elektrotechnika területén forradalmi átalakulásokat hozott létre. A villamosgépekkel szemben fokozódó követelményeket (pl. *áramfejlesztőknél* a terheléstől független feszültségtartás, az automatikus áramkorlátozás, a gyors működés, a különleges jelleggörbék hegesztőgépeknél; *motoroknál* a terheléstől független fordulatszám-tartás, az adott nyomaték-fordulatszám jelleggörbe betartása stb.) a klasszikus szemlélet szerint a gépek különleges kialakításával, tehát „gépen belül” igyekeztek megvalósítani. Az utóbbi években kialakult, mozgó alkatrészt nem tartalmazó szabályozástechnikai elemek (mágneses erősítők, különféle félvezető elemek) új távlatokat nyitottak. A villamos gépek szerkezete ismét egyszerűsödik és ezáltal nő az üzembiztonságuk és csökken a karbantartási igényük. A különleges követelményeket (mint pl. az áramforrásoknál a feszültségtartást vagy motoroknál a fordulat-

latszám-változtatást) a géppel szerves egységet képező, mozgó alkatrészt nem tartalmazó szabályozóberendezések veszik át. Ráadásul a teljes hajtás vagy a gép működése pontosabbá és gyorsabbá válik. Még lényegesebb a változás a különféle áramátalakító gépeknél. Az új statikus berendezések ezeket teljesen feleslegessé teszik.

A következőkben három jellegzetes területtel foglalkozunk, nevezetesen a járművilágítási áramforrásokkal, a szinkron gépek gerjesztési rendszerével és a villamos hajtásokkal.

A *járművilágítási rendszerekben* az akkumulátorral puffer üzemben működő áramfejlesztő gépeknél világszerte folyamatban van az áttérés az egyenáramú töltődinamóról az egyenirányítóval kapcsolt váltakozóáramú generátorokra. Ez a folyamat a leghatározottabban a vasútvilágítás terén figyelhető meg, kissé más formában az autóbuszoknál, teherautóknál és szórványosan már egyes személygépkocsi-típusoknál is.

Magyarországon néhány évvel ezelőtt indult meg a váltakozóáramú világítási rendszer kifejlesztése. A prototípusok a vizsgálati időt lefutották; a MÁV a *Villamosipari Kutató Intézet — Egyesült Villamosgépgyár* kooperációban kifejlesztett rendszert elfogadta és 1967-ben kerültek üzembe az első sorozatban készült berendezések. A generátor kefenélküli, forgórésze tekercsetlen. Szabályozója mozgó alkatrészt nem tartalmaz. A teljes világítási rendszer a szocialista országok viszonylatában a legkorszerűbb. A még elvégzendő tudományos munka a generátorok bizonyos számítástechnikai részleteinek kidolgozása. A töltőberendezés mellett ide tartoznak a fénycsővek táplálására szolgáló központi és egyedi, félvezetős inverterek is, amelyek szintén hazai fejlesztésűek. Meg kell még említenünk az *Autóvillamossági Felszerelések Gyárának* autóbuszok és teherautók részére készülő csúszógyűrűs háromfázisú töltőgenerátorát is.

A *szinkron gépek gerjesztési rendszerei* közül a kisebb és közepes teljesítményű öngerjesztéses feszültségtartó generátor nagy fejlődést ért meg az utóbbi időben. Felhasználása nő az országos hálózattól távollevő helyeken, továbbá kórházak, laboratóriumok, postai és távközlő berendezések, vasútállomások szükségáramforrásaként, hajóvillamossági rendszerekben és katonai célra. A mai irányzat vagy az, hogy nincs gerjesztőgép és a szabályozást statikus berendezés végzi, vagy kefenélküli gerjesztőgépes forgóegyenirányító generátort készítenek, amelynek kisméretű félvezetős szabályozója magába a generátorba van beépítve.

A szocialista országok közül elsőnek Magyarországon, az *Egyesült Villamosgépgyár* foglalkozik ilyen forgóegyenirányító kis generátorok fejlesztésével és első prototípusait az 1967. évi *Budapesti Nemzetközi Vásáron* mutatta be. Sorozatgyártásuk 1968-ban indult meg. Megoldandó még párhuzamos járás esetén a meddőteljesítmény arányos elosztása. A jelenlegi generátorok teljesítménye 100 kVA alatt van; szükséges a sort nagyobb teljesítmények felé is ki-



terjeszteni. (A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy időközben Lengyelország is bemutatott egy kísérleti gépet, amelynek a rendszere eltér az *Egyesült Villamosgépgyár* rendszerétől.) A *Ganz Villamossági Művek* a nagyobb szinkrongépekhez kifejlesztette az *Egyesült Villamosgépgyár* és a *Villamosipari Kutató Intézet* által kisebb gépeknél korábban már megvalósított gerjesztőgép nélküli egyenirányítós rendszert. Világszinten áll a *Magyar Tudományos Akadémia Automatizálási Kutató Intézetével* együtt kifejlesztett nagy szinkrongép szabályozó (turbógenerátorok, hidrogenerátorok és szinkronkompenzátorok részére). Gyártásban van az első egyenirányítós turbógerjesztő rendszer (a *Dunamenti Erőmű* egyik 150 MW-os gépéhez), amely a 220 MW-os és annál nagyobb teljesítményű turbógenerátorok közvetlenül kapcsolt gerjesztőgépes kivitelének megoldására hivatott, a világszerte terjedő tendenciának megfelelően. Tervbe vette a *Ganz Villamossági Művek* a forgó egyenirányítós gépek kifejlesztését is.

A *változó fordulatszámú villamos hajtások* a villamos hajtások egyik örökké időszerű tématerülete. A hagyományos Ward—Leonard- és pólus-átkapcsolásos motorok mellett kb. 10 évvel ezelőtt kezdődött meg Magyarországon a háromfázisú kommutátoros motorok gyártása. Időközben világszerte kialakultak a mágneses erősítős és tirisztoros egyenáramú hajtások. A *Villamos Automatika Intézet* készített mágneses-erősítős hajtásokat, azonban közben a tirisztoros hajtások terjedtek el. Eddig három intézet, nevezetesen a *Magyar Tudományos Akadémia Automatizálási Kutató Intézete*, a *Villamosipari Kutató Intézet* és a *Villamos Automatika Intézet* fejlesztett ki tirisztoros egyenáramú hajtásokat. A prototípus berendezések már régen működésben vannak. Tirisztoros, változó periódusú aszinkron motoros hajtásokat az *Automatizálási Kutató Intézet* fejlesztett ki; kísérleti hajtások üzemben vannak. A nagyobb teljesítményű száraz egyenirányítós áramforrásokkal és hajtásokkal — főleg vasúti járművek részére — a *Ganz Villamossági Művek* foglalkozik, sok esetben a *Villamosipari Kutató Intézettel* együttműködve. A villamos vontatás és a járművek villamos-berendezése terén elért eredmények értékelése külön tanulmány tárgyát képezi.

### 3. Egyéb témák

A nagy fordulatszámú hosszú gépeknél — főleg a turbógenerátoroknál és turbógenerátor-turbina gépcsoportoknál — lényeges a *kritikus fordulatszámok* közben tartása. Ugyanilyen fontos az épületben elhelyezett forgógépek *rezgésének* csökkentése, valamint az egyre jobban kihasznált, a munkahelyekhez, sőt lakóhelyekhez, kórházakhoz, szórakozóhelyekhez stb. egyre közelebb kerülő gépek *zajtalanossága*. A kis rezgésű kivitel elengedhetetlen követelmény a szerszámgépmotoroknál. Mind a megengedhető *rezgésekre*, mind a *zajszintre* helyenként előírások, szabványok is születtek. E kérdésekkel világszerte kuta-

tásszerűen foglalkoznak, bár a problémák elvileg általában nem nehezek. A kutatás mégis indokolt, mert a rezgés és zaj csökkentése rendszerint a gépek lényeges adottságainak megváltoztatása nélkül oldandó meg. Emellett a vizsgálatok gyakran szerteágazók és a számítások, valamint mérések nagy felkészültséget igényelnek.

Hazánkban a szóban forgó terület kutatómunkája viszonylag későn indult. Mind a turbógenerátorok és turbógenerátor-turbina gépcsoportok kritikus fordulatszámja, mind a lemezezt forgórészek kritikus fordulatszámja területén rendszeres kísérletek folynak. A gyártási folyamat részét képező rezgésmérés és dinamikus egyensúlyozás a *Ganz Villamossági Művekben* magas szintet ért el. Az *Egyesült Villamosgépgyár* a kényes szerszámgépek — elsősorban csiszológépek — motorainak gyártásához nagy pontosságú kiegyensúlyozógépeket használ. A mágneses zaj elkerülésének bonyolult törvényeit néhány zajos gép eredményeként a *Ganz Villamossági Művek* és az *Egyesült Villamosgépgyár* is alkalmazza. A szellőzési zaj terén a *Ganz Villamossági Művek* kezdte el a rendszeres méréseket. A zajmérésekre a közelmúltban az *Egyesült Villamosgépgyár* is felkészült, az ikladi *Ipari Műszergyárban* pedig befejezték egy süketszoba építését.

Röviden meg kell még emlékeznünk egyes *különleges elveken működő forgógépekről*. Ide tartoznak a főként szervo célokat szolgáló törpemotorok, mint pl. a szelszin, a serleges motor, a nyomtatott áramkörű motor, a hiszterézis motor; az univerzális motorok; a váltakozóáramú kommutátoros motorok; a hegesztőgépek; az erősítőgépek; a permanens mágnes generátorok; az indukciós tengelykapcsolók; a középfrekvenciás generátorok stb. Minthogy sok elméleti és gyakorlati kérdés tisztázatlan, azért világszerte sok helyen folyik kutatás is. Itt csak azokat a területeket említjük meg, ahol Magyarországon számottevő tudományos vagy fejlesztő munka van folyamatban. A *Ganz Villamossági Művekben* figyelemre méltó próbaeredményekkel is alátámasztott elméleti munkát végeztek a vízturbinás generátorok szabályozásánál és a nagy gépek automatikus gerjesztésszabályozóinál áramforrásként használt állandó mágneses generátorok és a főként indukciós kemencék céljára gyártott *középfrekvenciás generátorok* villamos számítása terén. Az elméleti felkészültségnek köszönhető, hogy e kis mennyiségben előállított különleges gépek jóformán fejlesztési ráfordítás nélkül gyárthatók. Sok különleges gépfajta vagy forgógépes probléma kutatásával és fejlesztésével a magyar ipar szerkezeti adottságait figyelembe véve nem érdemes foglalkoznunk. A magyar villamos forgógépipar fő felvevő területe az energiaipar, egyes ipari hajtások (pl. a vegyipar vagy hengerművek területén), a járművek (főleg vasúti és közúti vonatkozásban), valamint a szerszámgépipar. Ennek megfelelően indokolt, hogy a villamosipar nem foglalkozik a legtöbb törpegéptípus és a hozzájuk tartozó automatika-rendszerek fejlesztésével, a repülőgépek és rakétamotorok villamos hajtásaival stb.

### III. A hazai tudományos színvonal a transzformátorok területén

#### 1. Nagyfeszültségű technika

E terület világszerte a kutatás legfőbb irányát képezi, mert a feszültség-szintek rohamosan nőnek, a követelmények szigorúbbá válnak (lökőfeszültség-biztosság, kapcsolási túlfeszültségek stb.) és a szigetelő-szerkezetek méretei nagymértékben befolyásolják a transzformátorok gazdaságosságát.

A kérdés az elmondottak miatt hazánkban is a legelső helyen áll a transzformátorok kutatási-fejlesztési témái között. Eredményeink e téren igen jónak mondhatók. Évekig tartó kísérleti és kutató munka, valamint elméleti vizsgálatok azt eredményezték, hogy a *Ganz Villamossági Művek* ma olyan — digitális gépre programozott — számítási módszerrel rendelkezik, amellyel a gyakorlatilag szóba jövő tekercselések *lökőfeszültségeloszlását* és az egyes pontokban fellépő igénybevételeket (hullám-alak szempontjából is) igen jó közelítéssel előre meg tudja határozni. Az elméleti kutatás tovább folyik és a nagyszámú, módszeresség szempontjából tudomásunk szerint világviszonylatban is egyedülálló kísérletsorozat módot ad arra, hogy a tervező részletes számítás nélkül, közelítő módszerekkel már a tervezés legelső (pl. ajánlati) fázisában is kiválaszt-hassa a legmegfelelőbb tekercselést. Emellett a gyár olyan tekercs-konstrukciókat alakított ki (legtöbbje a gyár szabadalmát képezi), amelyek a gyakorlatban előforduló esetekben kedvező lökőfeszültség-eloszlást adnak. Ezek alapján a gyár igen rövid idő alatt kifejlesztette szabályozós, 120 kV-os transzformátorait és túlfeszültség-levezetők alkalmazása nélkül megoldotta a 220/120 kV-os takarékkapcsolású háromfázisú transzformátort; szállított 120 kV-os háromszögkapcsolású átkapcsolható transzformátorokat és sikerrel készítette el az első 400 kV-os transzformátort. Az új típusok kifejlesztése megfelelő elő-kísérletek (modellpróbák) igénybevételével történik. Ezekkel párhuzamosan a *Csepeli Transzformátorgyár* is kifejlesztette a lökőfeszültségbiztos tekercselést és 1600 kVA-ig terjedő sorozatának prototípusait sikerrel próbálta ki.

A *Budapesti Műszaki Egyetem Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszéke* a *Ganz Villamossági Művek* részére elektrolitikus kádat készített, amellyel ma a gyárban a legkülönbözőbb villamos-erőterek előzetes vizsgálata folyik. A korszerű szigetelő-szerkezetek kutatása korántsem tekinthető lezárt-nak; a gyár saját kísérletei és az *English Electric* gyárral létesített együttműködés révén kívánja a továbbfejlesztéshez szükséges alapokat megteremteni. A *Ganz Villamossági Művek* foglalkozik a transzformátorok vágóthullámú vizsgálatával és — elsősorban a licencia alapján gyártott mérőváltóknál — az ionizációs vizsgálatok bevezetésével; az utóbbi téren a vizsgálat transzformátorokon való alkalmazásáig még számos problémát kell megoldani. A gyár kutatómunkáját elősegíti a közelmúltban beszerzett önkiegyenlítő *Schering-híd*. A kapcsolási túlfeszültségekkel való próbákra a *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* készül fel.

A transzformátorok szigetelésének egyik legfontosabb eleme az *olaj*. A kérdés elméleti alapjait és a gyártási fázis (pl. vákuumozás) összes gyakorlati ismereteit is megszereztük, elsősorban a *Budapesti Műszaki Egyetem Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszéke* keretében a *Ganz Villamossági Művek* részére végzett kutatómunka révén. A kutatómunka publikált eredményeit a *Csepeli Transzformátorgyár* is alkalmazta. A további tapasztalatgyűjtés is fontos (pl. az üzemben levő transzformátorok nedvességtartalmára, gáztartalmára vonatkozólag).

A levegőtől *hermetikusan elzárt* transzformátorok önálló fejlesztését a *Csepeli Transzformátorgyár* kezdte el: kutatás indult a konzervátor nélküli, nyomás alatt álló transzformátorok kifejlesztésére.

A nagyfeszültségű *transzformátor-átvezetők* kutatásával nem foglalkozunk, mert ilyenek gyártása Magyarországon nem folyik. *Ganz Villamossági Művek* 35 kV-ig már gyártott *kábelfejes* transzformátorokat; adott igény esetén — főleg külföldről átvett konstrukciók felhasználásával — vállalkozni tud 120 kV-os kábelfejes transzformátorok szállítására is. A *Csepeli Transzformátorgyár* megkezdte 10 (később esetleg 20) kV-ig terjedő *száraz transzformátorok* kidolgozását. Az ionizációs kérdések kutatása a *Budapesti Műszaki Egyetem Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszékén* folyik. Az öntőgyantakísérletekkel a gyár saját maga foglalkozik.

Hasznos volna a transzformátorokat érő *hálózati igénybevételek* kutatása, az energiaipar keretében.

## 2. Veszteségek és hűtés

A transzformátorok gazdaságosságát és határteljesítményét a veszteségek döntően befolyásolják, ezért ez is fontos kutatási téma. A hazánkban e téren fennállt elmaradást a *Ganz Villamossági Művek* viszonylag rövid idő alatt megszüntette a *hidegenhengerelt transzformátorlemezek* alkalmazására vonatkozó rendszeres kísérleti és kutatómunkával. Az új lemezek bevezetésével együtt számos szerkezeti és technológiai megoldást kellett kipróbálni és az adottságokhoz alkalmazni. Az eredmények gyakorlati szempontból is százszázalékosnak mondhatók.

A *Ganz Villamossági Művek* kutatómunkát folytat a *szórtmezők okozta többletveszteségek* számítással való meghatározására; a módszert főleg a határteljesítményű transzformátoroknál kívánja alkalmazni a konstrukciók legmegfelelőbb kialakítása és a nem kívánatos többletveszteségek, illetve helyi melegedések elkerülése céljából.

A hűtés kérdései főleg a legnagyobb transzformátoroknál lényegesek, mert szükségessé válnak a belső hűtés különleges módjai és a transzformátorokra szerelt olaj-levegő hűtők megszabják a transzformátorok szállítási lehető-

ségeit. Hazánkban e szempontokhoz az is hozzájárul, hogy a kisebb transzformátorok hűtőit is korszerűsíteni kell.

A *Ganz Villamossági Művek* számos kutatóhellyel együttműködve hosszabb ideje foglalkozik a *transzformátorhűtők* továbbfejlesztésével. A levegő-zárványok képződését kizáró, kisebb helyfoglalású önhordó radiátor-elemek kifejlesztésére a *Budapesti Műszaki Egyetem Villamoskari Géptan Tanszékével* és a miskolci *Nehézipari Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékével* kötött szerződést. A gyár saját maga kidolgozott olaj-víz-hűtőket. Egyben igen rövid idő alatt bevezette részint saját konstrukciója, részint a leningrádi *Elektroszila* elvi megoldása alapján a nagytranszformátorokra szerelt kompakt hűtőket és megvalósította a mesterséges olajhűtés rendszerét. Részben e hűtők mérése, részben további (elsősorban kisebb súlyú) hűtők kidolgozása számos kutatóhelyen folyik, nevezetesen az *Energiagazdálkodási Intézetben* és a *Villamosenergiaipari Kutató Intézetben*, továbbá a *Budapesti Műszaki Egyetem Vízgépek Tanszékén* és *Energiagazdálkodási Tanszékén*. A *Csepeli Transzformátorgyár* saját maga foglalkozik a csőhűtés korszerűbb változatának kidolgozásával.

A transzformátorok *belső hűtésének* teljesen új (irányított) módszerére vonatkozólag a *Ganz Villamossági Művek* nagyszabású kísérletsorozatot fejezett be. Az eredményeket a 270 MVA-es géptranszformátoroknál fogja először hasznosítani. E téren a gyárral kapcsolatba lépett *English Electric* is sok eredményt tud majd átadni.

Hasznos volna foglalkozni a korszerű transzformátorok kisebb *túlterhelhetőségének kompenzációs* lehetőségeivel is.

### 3. Zárlatbiztosság

A zárlatbiztosság valamennyi transzformátornál alapvető követelmény, de nagyobb problémákat a nagyteljesítményű transzformátoroknál vet fel. Ezért e téren világszerte kutatás folyik. A *Ganz Villamossági Művek* a zárlati igénybevételekre vonatkozólag nemzetközileg is elismert számítási módszert dolgozott ki. E téren a gyár az *English Electric* segítségével kíván tovább haladni. Sikerként könyvelhető el, hogy a *Csepeli Transzformátorgyár* új sorozatának prototípusa és a *Ganz Villamossági Művek* eddig kipróbált valamennyi transzformátora a zárlati próbákat sikeresen állta ki.

### 4. Zajcsökkentés

E probléma világszerte az érdeklődés homlokterében áll és bonyolult összefüggéseinél fogva nyugodtan kezelhető tudományos kérdésként. Hazánkban a munka meglehetősen kezdeti stádiumban van. A *Ganz Villamossági Művek* kidolgozta, valamint alkalmazza a megfelelő mérés technikát és már

szép számú szabatos mérési adattal rendelkezik. A komoly fejlesztést a gyár ezután már elkezdheti; gyorsítani fogja a fejlesztést az *English Electric* gyárral létesített kapcsolat. A *Csepeli Transzformátorgyár* helyi adottságainál fogva (zavaró zajszint) még a méréstechnika sikeres alkalmazásáig sem tudott eljutni. A gyár tervbe vette „süketszoba” létesítését.

### 5. Egyéb témák

A korszerű tervezés ma már nem képzelhető el a *gépi számítási módszerek* alkalmazása nélkül. Ezért gyakorlatilag igen fontos, hogy mind a transzformátorok optimális méreteinek meghatározására, mind különféle műszaki részek kiszámítására a *Ganz Villamossági Művek* ma már gépi számító programokat használ. A *Csepeli Transzformátorgyárban* folyamatban van gépi számítási módszer bevezetése. Ezt nem csak gyakorlati fontossága miatt tartottuk szükségesnek megjegyezni, hanem azért is, mert egy-egy műszaki problémát a gépi programozás előtt általában tudományos elemző vizsgálatnak kell alávetni.

Minthogy az ipar nem gyártja és gyártását egyelőre nem vette tervbe, hazánkban nem foglalkozunk a *különleges hűtőközegű transzformátorokkal*, a *bányatranszformátorok* különleges (pl. a homoktöltésű) *kiviteleivel*, továbbá a *mélyhűtött transzformátorokkal*. A *Csepeli Transzformátorgyár* korábban foglalkozott a fólia-tekerceselésű transzformátorok kísérleteivel, de a bevezetést a kísérletek alapján elvetette, és ma fejlesztési munkát kíván elkezdeni a műanyagba ágyazott szalagtekerceselés technológiájának megoldására. Ugyanezzel a problémával a kisteljesítményű transzformátorok vonatkozásában a *Villamos Berendezés és Készülék Művek* is foglalkozik. Ugyanez a vállalat a legutóbbi 2—3 évben világviszonylatban is korszerű *középfeszültségű áramváltótípusokat* alakított ki. A jövőben hasonló szellemben kívánja kidolgozni új — pl. a nagy áramerősségű — típusait és átdolgozza a régebbi konstrukciókat (főként a feszültségváltókat) is.

A gyárak rendszeresen fejlesztik *mérési módszereiket*. Megemlítjük, hogy a *Csepeli Transzformátorgyár* részére a *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* fejleszt ki — nagyfrekvenciás, ill. lökőfeszültség-elven működő — vizsgálóberendezést az áramkorlátozó fojtótekercesek szigetelési próbáihoz és a *Budapesti Műszaki Egyetem Villamos Gépek Tanszéke* műszert készít a veszteségek kis teljesítménytényező mellett való pontos mérésére.

## IV. Összefoglaló értékelés

Mindkét tudományterület helyzetét röviden összefoglalva a következőképpen értékelhetjük:

a) A magyar ipar viszonylag kis kutatási és fejlesztési kapacitással rendelkezik az ismertetett területeken;

b) A gyártó ipar fejlesztési-kutatási eredményei (pl. a nagy turbógenerátor-forgórészek közvetlen vezetőhűtése, félvezetős berendezések a vasúti járművekben, lökőfeszültségbiztos transzformátortekercselések 400 kV-ig) lehetővé tették a két termelési ág színvonalának a fejlődése üteme által kívánt nagymértékű emelkedését;

c) a szűk kapacitás ellenére egyes területeken világviszonylatban is elismert kiemelkedő eredmények születtek, sokszor kizárólag elméleti munkával (ilyenek pl. a váltakozóáramú gépek tranziens folyamatainak és a villamosgépek különleges üzemi állapotainak vizsgálata, vagy a nagyfeszültségű technika terén elért egyes eredmények).

Az iparvezetés feladata, hogy megtalálja a termelési volumen és a termékválaszték olyan egyensúlyát, amely (akár termelésbővítés, akár profil-szűkítés és nemzetközi szállítási kooperáció révén) képes fenntartani az ipar által igényelt fejlesztést. Bármilyen irányú választás esetén alapvető feladat a saját erőből végzett fejlesztő-kutató munka erősítése (géplaboratórium létesítése, fejlett hőtechnikai és mechanikai kísérletekre való saját berendezkedés, a nagyfeszültségű mérés-technika fejlesztése stb.). Egyben meg kell találni a jövőben is azokat a területeket, ahol a szükséges műszaki fejlődés legcélszerűbben külföldi segítséggel valósítható meg és e segítséget teljes mértékben ki is kell használni.

**The Position of Scientific Field Concerning Rotating Machines and Transformers in Hungary.** The paper evaluates the scientific level achieved in the fabrication technique of two important fields of strong power current in Hungary. In connection with rotating machines it outlines the research work carried out with the aim of developing a better exploitation of machinery (outstanding results in the field of cooling, development of insulation techniques, mechanical research work, theoretical and practical results in the field of commutation and of over losses). It discusses in detail the development of control and driving techniques, the expansion of strong power current electronics, as well as other results attained in the field of driving machines (vibrations, noises, special rotating machines). Regarding the transformers the development of strong power current techniques is of first rank (results attained in research work and experimentally concerning the field of shock voltage distribution and of insulating devices, in connection with oils, etc.). The paper reports on remarkable results in the field of losses and of cooling. After this it deals among others with the safety of blocking, with the noise reduction and with the problems of investigation and development of special transformers.

**Die Lage der Rotationsmaschinen und Transformatoren in Ungarn aus wissenschaftlichem Gesichtspunkt.** In dieser Abhandlung werden zwei sehr wichtige Zweige der Hochstrom-industrie ausgewertet. Bezüglich der Rotationsmaschinen wird die Forschungs- und Entwicklungsarbeit für die bessere Ausnutzung der Maschinen veröffentlicht (hervorragende Ergebnisse in der Abkühlungstechnik, die Entwicklung der Isolationstechnik, mechanische Forschungen, theoretische und praktische Ergebnisse auf dem Gebiet der Kommutation und der Verluste). Die Entwicklung der Regelungstechnik und der Antriebstechnik, ferner die Verbreitung der Hochstromelektronik werden ausführlich angegeben, dann werden die Ergebnisse auf den anderen wissenschaftlichen Gebieten der Rotationsmaschinen behandelt (Schwingungen, Geräusch, besondere Rotationsmaschinen). Auf dem Gebiet der Transformatoren die Entwicklung der Hochspannungstechnik ist das wichtigste (theoretische und praktische Resultate bei der Stoßspannungsverteilung, der Isolation und der Öltechnik u. s. w.). Die Abhandlung gibt eine Übersicht über die erwähnungswerten Ergebnisse des Gebietes der Verluste und der Abkühlungstechnik. Dann werden die Probleme der Kurzschlußsicherheit, der Geräuschdämpfung und die Fragen der Forschung und Entwicklung der Sondertransformatoren behandelt.





# NEGYEDRENDŰ FELÜLETŰ, EGYENES PEREMŰ HAJLÍTOTT HÉJ SZÁMÍTÁSA SZIMMETRIKUS ÉS ANTIMETRIKUS TEHERRE

KOLLÁR LAJOS\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

GÁRDONYI ZOLTÁN\*\* és HOLNAPY DEZSŐ\*\*\*

[Beérkezett: 1969. okt. 17.]

A másodrendűnél magasabb rendű felület szerint alakított héjak egyenletei változó együtthatójúak. Az ebből származó nehézségeket akár valamely speciális analitikus módszerrel, akár pedig a differencia-számítás alkalmazásával lehet legyőzni. A dolgozat ezt a két módszert mutatja be, mégpedig először általánosságban, majd egy megépült és modellkísérlettel is ellenőrzött héjszerkezet konkrét adataival. A számszerű összehasonlításokon kívül elvileg is értékeli a két módszert.

## I. Bevezetés

Építészeti és épületszerkezeti szempontból sok esetben előnyös, ha valamely héjszerkezetnek legalább a szembenlevő két pereme egyenes vonalú. A könnyen számítható *másodrendű* felületek közül ezt csak a dongahéj biztosítja, de mivel ez csak az egyik irányban görbült, ezért nagyobb nyílások esetén nagy hajlítónyomatékok ébrednek benne, s a stabilitás biztosítása céljából nagy falvastagságra van szükség. Kíváncsú lenne tehát, hogy kétszer görbült héjakat alkalmazzunk. Ezek azonban csak akkor adnak egyenes peremet, ha legalább *negyedrendű* felület szerint formáljuk meg őket.

Az 1. ábrán három lehetőséget mutatunk be a

$$z = Ax^2 + By^2 + Cx^2y^2 \quad (1)$$

középfelületű héj kialakítására. Az  $A$ ,  $B$ ,  $C$  konstansok megfelelő felvételével hiperbolikus (1a ábra) vagy elliptikus (1b ábra) felületet képezhetünk, s nemcsak a szembenlevő két peremet tehetjük egyenessé, hanem mind a négyet is (1c ábra).

Ezeknek a héjaknak az erőjátékát *nem lehet a membránelmélettel* leírni, mert az ellapuló szélső szakaszokon számottevő nyomatékok várhatók, és elméletileg sem lehetnek egyensúlyban csupán membránerőkkel. Másrészt viszont — éppen a szélek ellaposodása folytán — többnyire kellő pontossággal

\* BUVÁTI, Városház u. 9–11. Budapest V.

\*\* UVATERV, Vigadó tér 1. Budapest V.

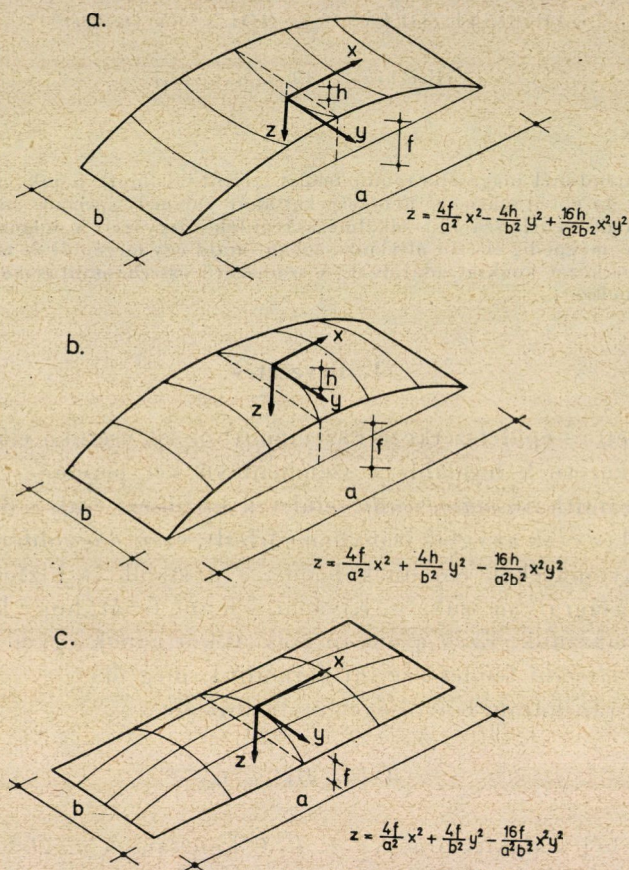
\*\*\* NIMIGÜSZI Számítóközpont, Markó u. 16. Budapest V.

*laposnak* tekinthetjük azokat. Így a *lapos héjak hajlításmélete* alapján fogjuk azokat tárgyalni.

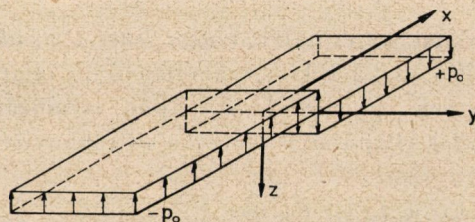
Kétféle terhelésre ismertetjük a megoldást: *totális és antiszimmetrikus egyenletes teherre*. (A féldoldalas teher a kettő összegeként állítható elő).

A peremeken a következő *megtámasztási feltételeket* vesszük fel:

A héj csuklósan (sarokpántosan) támaszkodik a peremekre, azaz itt



1. ábra



2. ábra

zérus a lehajlás és a peremre merőleges hajlítónyomaték:

$$w = 0, \quad (2a)$$

és

$$\frac{\partial^2 w}{\partial n^2} = 0, \quad (2b)$$

ha  $w$ -vel jelöljük a lehajlást,  $n$ -nel pedig a peremre merőleges irányt.

A peremek nem vesznek fel vállnyomást, tehát zérus a peremekre merőleges  $n_n$  membrán-nyomóerő:

$$n_n = 0. \quad (2c)$$

Végül: a héj széle a peremtartó érintőjének irányában elmozdulásmentesen van megtámasztva. Ez azt jelenti, hogy zérus a perem mentén a peremmel párhuzamos megnyúlás, tehát az  $n_s$  membrán-nyomóerő is:

$$n_s = 0. \quad (2d)$$

A peremek tehát csak függőleges erőt és érintőirányú erőt vesznek fel. A héjra nézve az első hajlítási nyíróerőt, a második pedig membrán-nyíróerőt jelent.

## 2. A bemutatandó megoldásfajták

A következőkben először egy analitikus megoldást ismertetünk. Utána bemutatjuk a probléma megoldását véges differencia-egyenletekkel. Végül megvizsgáljuk a két módszer pontosságát és konvergenciáját egy megépült héjszerkezet adataival, majd összehasonlítjuk őket a modellkísérleti eredményekkel. Ebből gyakorlati következtetéseket fogunk levonni a módszerek alkalmazhatóságára vonatkozóan.

## 3. Analitikus megoldás

Az analitikus megoldás a lapos hajlított héjak differenciálegyenleteiből indul ki. Ha elhanyagoljuk a harántkontrakciót ( $\nu = 0$ ), és csak függőleges terhet veszünk figyelembe, akkor a lapos héjak összeférhetőségi és egyensúlyi egyenlete a következő alakú lesz (lásd pl. [1]-ben):

$$\Delta \Delta F + D \cdot Lw = 0, \quad (3a)$$

$$K \cdot \Delta w - LF = p. \quad (3b)$$

Itt

$F(x, y)$  a membrán-feszültségfüggvény,  
 $w(x, y)$  a héjfelület függőleges eltolódása,

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \text{ a Laplace-operátor,}$$

$$L = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \text{ a Pucher-operátor,}$$

$$D = Et \text{ a hég húzási merevsége.}$$

$$K = \frac{Et^3}{12} \text{ a hég hajlítási merevsége,}$$

$$t \quad \text{a hég vastagsága,}$$

$$p \quad \text{a függőleges teher.}$$

Az alapul vett peremfeltételeket a legegyszerűbben oly módon elégíthetjük ki, hogy mind  $F$ -et, mind  $w$ -t kettős Fourier-sor alakjában írjuk fel (Navier-féle megoldás).

### 3.1. Megoldás szimmetrikus teher esetére

Ez a Navier-féle megoldás szimmetrikus teher esetében a következő lesz:

$$F = \sum_m \sum_n F_{mn} \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \quad (4)$$

$$w = \sum_m \sum_n w_{mn} \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y. \quad (5)$$

E sorokban

$$\omega_m = m \frac{\pi}{a}, \quad (6a)$$

$$\omega_n = n \frac{\pi}{b}, \quad (6b)$$

és

$$m, n = 1, 3, 5 \dots$$

Az állandó terhet ugyancsak kettős Fourier-sorba fejthetjük:

$$p = \sum_m \sum_n p_{mn} \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \quad (7a)$$

Ahhoz, hogy behelyettesíthessük (4)—(5)—(6) kifejezéseket a (3a—b) egyenletekbe, egyrészt páros számú differenciálást kell végeznünk  $x$  vagy  $y$  szerint. Ekkor változatlan formában visszkapjuk a  $\cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y$  tagokat, amelyek legfeljebb  $x$  vagy  $y$  páros függvényeivel megszorozva fognak szerepelni. Másrészt  $x$  és  $y$  szerint kell képeznünk a vegyes deriváltat. Ez  $\sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y$  tagokat eredményez, de ezt egy  $(x \cdot y)$  taggal kell megszoroznunk, s ily módon mind  $x$ , mind  $y$  szerint két páratlan függvény szorzatát kapjuk, ami ismét páros függvényt ad.



Az egyenletekben tehát csupa páros függvény fog szerepelni, de bizonyos trigonometrikus tagoknak változó együtthatójuk lesz. Ezt a nehézséget SZMODITS [6] úgy hidalta át, hogy ezeket a változó együtthatós tagokat újra Fourier-sorba fejtette. Így egyrészt eltűnnek a változó együtthatók, másrészt mindegyik tagban  $\cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y$  alakú trigonometrikus függvények fognak szerepelni, tehát egyszerűsíteni lehet velük, s az  $F_{mn}$  és  $w_{nm}$  együtthatókra lineáris egyenletrendszer adódik, amit könnyen meg lehet oldani.

Ezt SZMODITS szimmetrikus teherre el is végezte [6]-ben. A következőkben röviden összefoglaljuk a Szmodits-féle (szimmetrikus teherre szóló) megoldást, egyrészt a teljesség, másrészt pedig az egységes tárgyalásmód kedvéért.

Ha a teher intenzitása állandó ( $p_0$ ), akkor a (7a) kifejezés  $p_{mn}$  együtthatói a következő alakot öltik:

$$p_{mn} = \frac{16 p_0}{\pi^2 mn} (-1)^{\frac{m+n-2}{2}}. \quad (7b)$$

Az  $L$  operátort  $F$  (4) képletére alkalmazva, az alábbi kifejezést kapjuk:

$$L \cdot F = 2 \sum_{\mu} \sum_{\varrho} F_{\mu\varrho} \{ [(A + Cy^2) \omega_{\varrho}^2 + (B + Cx^2) \omega_{\mu}^2] \cdot \cos \omega_{\mu} x \cdot \cos \omega_{\varrho} y + 4 Cxy \omega_{\mu} \omega_{\varrho} \cdot \sin \omega_{\mu} x \cdot \sin \omega_{\varrho} y \}, \quad (8)$$

ahol  $\mu = 1, 3, 5 \dots$   
és  $\varrho = 1, 3, 5 \dots$

(Az  $m, n$  indexek helyett a későbbi számítások kedvéért vezettük be az új  $\mu, \varrho$  jelölést.)

A kapcsos zárójelen belül levő,  $x^2$ -tel,  $y^2$ -tel, ill.  $xy$ -nal szorzott trigonometrikus tagokat újra Fourier-sorba fejtjük  $\cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y$  szerint. Az ehhez szükséges integrálok a következők:

Ha  $\mu \neq m$  és  $\varrho \neq n$ , akkor

$$I_1 = \int_{a/2}^{a/2} x^2 \cdot \cos \omega_{\mu} x \cdot \cos \omega_m x \cdot dx = \frac{1}{2} \left[ \frac{2a}{(\omega_{\mu} - \omega_m)^2} (-1)^{\frac{\mu+m-2}{2}} + \frac{2a}{(\omega_{\mu} + \omega_m)^2} (-1)^{\frac{\mu+m}{2}} \right], \quad (9)$$

$$I_2 = \int_{-b/2}^{+b/2} y^2 \cdot \cos \omega_{\varrho} y \cdot \cos \omega_n y \cdot dy = \frac{1}{2} \left[ \frac{2b}{(\omega_{\varrho} - \omega_n)^2} (-1)^{\frac{\varrho+n-2}{2}} + \frac{2b}{(\omega_{\varrho} + \omega_n)^2} (-1)^{\frac{\varrho+n}{2}} \right], \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 I_3 &= \int_{-a/2}^{+a/2} x \cdot \sin \omega_\mu x \cdot \cos \omega_m x \cdot dx = \\
 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{a}{\omega_\mu - \omega_m} (-1)^{\frac{\mu+m+2}{2}} - \frac{a}{\omega_\mu + \omega_m} (-1)^{\frac{\mu+m}{2}} \right], \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_4 &= \int_{-b/2}^{+b/2} y \cdot \sin \omega_\varrho y \cdot \cos \omega_n y \cdot dy = \\
 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{b}{\omega_\varrho - \omega_n} (-1)^{\frac{\varrho+n+2}{2}} - \frac{b}{\omega_\varrho + \omega_n} (-1)^{\frac{\varrho+n}{2}} \right]. \quad (12)
 \end{aligned}$$

Ha pedig  $\mu=m$  és  $\varrho=n$ , akkor

$$I_5 = \int_{-a/2}^{+a/2} x^2 \cdot \cos \omega_\mu x \cdot \cos \omega_m x \cdot dx = \frac{a^3}{24} - \frac{a}{4 \omega_m^2}, \quad (13)$$

$$I_6 = \int_{-b/2}^{+b/2} y^2 \cdot \cos \omega_\varrho y \cdot \cos \omega_n y \cdot dy = \frac{b^3}{24} - \frac{b}{4 \omega_n^2}, \quad (14)$$

$$I_7 = \int_{-a/2}^{+a/2} x \cdot \sin \omega_\mu x \cdot \cos \omega_m x \cdot dx = \frac{a}{4 \omega_m}, \quad (15)$$

$$I_8 = \int_{-b/2}^{+b/2} y \cdot \sin \omega_\varrho y \cdot \cos \omega_n y \cdot dy = \frac{b}{4 \omega_n}. \quad (16)$$

A fenti integrálokat felhasználva, a (8) kifejezés ismételt sorbafejtett alakja

$$L \cdot F = - \sum_{\mu} \sum_{\varrho} F_{\mu\varrho} \sum_m \sum_n E_{mn}^{\mu\varrho} \cdot \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y \quad (17)$$

ahol az  $E_{mn}^{\mu\varrho}$  együtthatók a következők:

$$\mu \neq m, \varrho \neq n: E_{mn}^{\mu\varrho} = 32 C \omega_m \omega_\mu \omega_n \omega_\varrho (-1)^{\frac{m+\mu+n+\varrho}{2}} \frac{1}{\omega_m^2 - \omega_\mu^2} \frac{1}{\omega_n^2 - \omega_\varrho^2}, \quad (18)$$

$$\mu = m, \varrho = n: E_{mn}^{\mu\varrho} = 2(A\omega_\varrho^2 + B\omega_\mu^2) + \frac{C}{6} (b^2 \omega_\varrho^2 + a^2 \omega_\mu^2), \quad (19)$$

$$\mu \neq m, \varrho = n: E_{mn}^{\mu\varrho} = 8 C \omega_m \omega_\mu (-1)^{\frac{m+\mu+2}{2}} \frac{\omega_m^2 + \omega_\mu^2}{(\omega_m^2 - \omega_\mu^2)^2}, \quad (20)$$

$$\mu = m, \varrho \neq n: E_{mn}^{\mu\varrho} = 8 C \omega_n \omega_\varrho (-1)^{\frac{n+\varrho+2}{2}} \frac{\omega_n^2 + \omega_\varrho^2}{(\omega_n^2 - \omega_\varrho^2)^2}. \quad (21)$$

Hasonlóan elvégezve  $w$  sorával is ugyanezt a műveletet, a

$$L \cdot w = - \sum_{\mu} \sum_{\varrho} w_{\mu\varrho} \sum_m \sum_n E_{mn}^{\mu\varrho} \cdot \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y \quad (22)$$



kifejezést kapjuk, amelyben  $E_{mn}^{\mu q}$  ugyancsak a (18)–(21) egyenletekből számítható.

Ha már most (17)-et és (22)-t is felhasználva, behelyettesítjük (4)-et és (5)-öt a (3a–b) egyenletrendszerbe, akkor szétesnek az egyenletek  $m$  és  $n$  különböző értékeinek megfelelően. Egyszerűsítve a mindegyik tagban szereplő  $(\cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y)$  kifejezéssel, lineáris egyenletrendszert kapunk a  $F_{mn}$  és  $w_{mn}$  együtthatókra. Egy  $(m, n)$  értékpárra ez a következő alakú lesz:

$$F_{mn}(\omega_m^2 + \omega_n^2)^2 \cdot D \sum_{\mu} \sum_{q} w_{\mu q} E_{mn}^{\mu q} = 0, \quad (23)$$

$$K \cdot w_{mn}(\omega_m^2 + \omega_n^2)^2 + \sum_{\mu} \sum_{q} F_{\mu q} E_{mn}^{\mu q} = \frac{16 p_0}{\pi^2 mn} \left( -1 \right)^{\frac{m+n-2}{2}}. \quad (24)$$

Ha a  $\mu$ , ill.  $q$  szerinti sorbafejtésekből ugyanannyi tagot veszünk számításba, mint az  $m$ , ill.  $n$  szerintiből, akkor annyi egyenletünk lesz, ahány ismeretlenünk, tehát megoldható az egyenletrendszer.

A metszeterők ezek után az ismert

$$\begin{aligned} n_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}, \\ n_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (25a-c)$$

$$n_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y},$$

és

$$\begin{aligned} m_x &= K \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \\ m_y &= K \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \\ m_{xy} &= K \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \quad (25d-f)$$

képletekből számíthatók. Pozitív értelmezésüket a 3. ábra tünteti fel. (A pozitív hajlítónyomaték az alsó szálaban okoz húzást.)

A metszeterők részletesen felírt képletei a következők:

$$\begin{aligned} n_x &= - \sum_m \sum_n F_{mn} \omega_n^2 \cdot \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \\ n_y &= - \sum_m \sum_n F_{mn} \omega_m^2 \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \end{aligned} \quad (26 a-c)$$

$$n_{xy} = - \sum_m \sum_n F_{mn} \omega_m \omega_n \sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y,$$

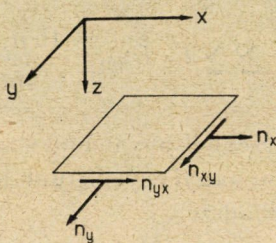
illetve

$$m_x = + K \sum_m \sum_n w_{mn} \omega_m^2 \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y,$$

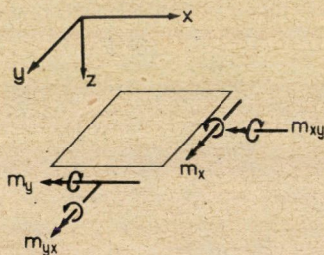
$$m_y = + K \sum_m \sum_n w_{mn} \omega_n^2 \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \quad (26 \text{ d—f})$$

$$m_{xy} = - K \sum_m \sum_n w_{mn} \omega_m \omega_n \sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y,$$

a. Membránerők



b. Nyomatékok



3. ábra

### 3.2. Megoldás antimetrikus teher esetére

Az 1. ábrán vázolt héjszerkezetekre (vagy peremíveikre) mértékadó lehet az  $x$ -ben antimetrikus egyenletes teher is (2. ábra). Ezt a feladatot is a 3.1. pontban bemutatott módon oldhatjuk meg. A terhet most

$$p = \sum_m \sum_n p_{mn} \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y \quad (27)$$

sorba fejtjük, ahol

$$m = 2, 4, 6, \dots \text{ és } n = 1, 3, 5, \dots$$

Ha  $m = 2, 6, 10, 14, \dots$ , a  $p_{mn}$  együtthatók értéke

$$p_{mn} = \frac{32 p_0}{\pi^2 mn} (-1)^{\frac{n-1}{2}}. \quad (28a)$$

ha pedig  $m = 4, 8, 12 \dots$ , akkor

$$p_{mn} = 0, \quad (28b)$$

A feszültség- és lehajlásfüggvényre az antimetriának megfelelően most az

$$F = \sum_m \sum_n F_{mn} \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y \quad (29)$$

és a

$$w = \sum_m \sum_n w_{mn} \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y \quad (30)$$

Fourier-sorokat vesszük fel. A (2)–(3) egyenletekbe való behelyettesítéshez szükséges  $L$  operátor alkalmazásával az

$$\begin{aligned} L \cdot F = & -2 \sum_{\mu} \sum_{\varrho} F_{\mu\varrho} \{ [(A + Cy^2) \omega_{\varrho}^2 + (B + Cx^2) \omega_{\mu}^2] \times \\ & \times \sin \omega_{\mu} x \cdot \cos \omega_{\varrho} y - 4C xy \omega_{\varrho} \omega_{\mu} \cdot \cos \omega_{\mu} x \cdot \sin \omega_{\varrho} y \} \end{aligned} \quad (31)$$

kifejezést kapjuk, ahol

$$\mu = 2, 4, 6 \dots$$

és

$$\varrho = 1, 3, 5 \dots$$

A zárójeles tag  $\sin \omega_{\mu} x \cdot \cos \omega_{\varrho} y$ -alakú Fourier-sorba való fejtéséhez szükséges integrálok a következők:

Ha  $\mu \neq m$  és  $\varrho \neq n$ , akkor

$$\begin{aligned} I_9 &= \int_0^{a/2} x^2 \sin \omega_{\mu} x \cdot \sin \omega_m x \cdot dx = \\ &= \frac{1}{2} \left[ \frac{a}{(\omega_{\mu} - \omega_m)^2} (-1)^{\frac{\mu+m}{2}} - \frac{a}{(\omega_{\mu} + \omega_m)^2} (-1)^{\frac{\mu+m}{2}} \right], \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} I_{10} &= \int_0^{a/2} x \cdot \cos \omega_{\mu} x \cdot \sin \omega_m x \cdot dx = \\ &= \frac{1}{2} \left[ \frac{a}{2(\omega_{\mu} - \omega_m)} (-1)^{\frac{\mu+m}{2}} - \frac{a}{2(\omega_{\mu} + \omega_m)} (-1)^{\frac{\mu+m}{2}} \right]. \end{aligned} \quad (33)$$

Ha pedig  $\mu = m$  és  $\varrho = n$ , akkor

$$I_{11} = \int_0^{a/2} x^2 \cdot \sin \omega_{\mu} x \cdot \sin \omega_m x \cdot dx = \frac{a^3}{48} - \frac{a}{8 \omega_m^2}, \quad (34)$$

$$I_{12} = \int_0^{a/2} x \cdot \cos \omega_{\mu} x \cdot \sin \omega_m x \cdot dx = -\frac{a}{8 \omega_m} \quad (35)$$

Ezekén kívül fel kell használnunk a (10), (12), (14) és (16) integrálokat is. Így (31)-nek az alábbi, ismételt sorbafejtett alakjához jutunk:

$$L \cdot F = \sum_{\mu} \sum_{\varrho} F_{\mu\varrho} \sum_m \sum_n E_{mn}^{\mu\varrho} \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y. \quad (36)$$

Az  $E_{mn}^{\mu\varrho}$  együtthatókat a következő képletek adják meg:

$$\begin{aligned} \mu \neq m, \varrho \neq n : E_{mn}^{\mu\varrho} &= 32 C \omega_m \omega_{\varrho} \omega_n \omega_{\mu} (-1)^{\frac{m+\mu+n+\varrho+2}{2}} \times \\ &\times \frac{1}{\omega_m^2 - \omega_{\mu}^2} \cdot \frac{1}{\omega_n^2 - \omega_{\varrho}^2}, \end{aligned} \quad (37)$$

$$\mu = m, \varrho = n : E_{mn}^{\mu\varrho} = 2(A\omega_{\varrho}^2 + B\omega_{\mu}^2) + \frac{C}{6}(b^2\omega_{\varrho}^2 + a^2\omega_{\mu}^2), \quad (38)$$

$$\mu \neq m, \varrho = n : E_{mn}^{\mu\varrho} = 8 C \omega_m \omega_{\mu} (-1)^{\frac{m+\mu}{2}} \cdot \frac{\omega_m^2 + \omega_{\mu}^2}{(\omega_m^2 - \omega_{\mu}^2)^2}, \quad (39)$$

$$\mu = m, \varrho \neq n : E_{mn}^{\mu\varrho} = 8 C \omega_n \omega_{\varrho} (-1)^{\frac{m+\varrho+2}{2}} \cdot \frac{\omega_n^2 + \omega_{\varrho}^2}{(\omega_n^2 - \omega_{\varrho}^2)^2}. \quad (40)$$

Az  $L$  operátort a  $w$  lehajlásfüggvényre alkalmazzuk, akkor ugyanezekkel az együtthatókkal az

$$L \cdot w = \sum_m \sum_n w_{\mu\varrho} \sum_m \sum_n E_{mn}^{\mu\varrho} \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y \quad (41)$$

kifejezést kapjuk. Behelyettesítve mindent a (3a—b) egyenletekbe, szétválasztva a különböző  $(m, n)$ -eknek megfelelő tagokat és  $(\sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y)$ -nal egyszerűsítve, a következő alakú lineáris egyenletrendszeret kapjuk az  $F_{mn}$  és  $w_{mn}$  együtthatókra:

$$F_{mn} (\omega_m^2 + \omega_n^2)^2 - D \sum_{\mu} \sum_{\varrho} w_{\mu\varrho} E_{mn}^{\mu\varrho} = 0, \quad (42)$$

$$K \cdot w_{mn} (\omega_m^2 + \omega_n^2)^2 + \sum_{\mu} \sum_{\varrho} F_{\mu\varrho} E_{mn}^{\mu\varrho} = p_{mn}, \quad (43)$$

ahol  $p_{mn}$ -t a (28a—b) szerint kell értelmezni.

Most is ugyanannyi egyenletet kapunk, ahány ismeretlenünk van, ha a  $\mu$ , ill.  $\varrho$  tagok számát azonosnak választjuk az  $m$ , ill.  $n$  tagok számával. A metaszeterőket változatlanul a (25)—(26) képletek szolgáltatják. Részletesen kiírva ezek a következőképpen alakulnak:

$$n_x = - \sum_m \sum_n F_{mn} \omega_n^2 \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y,$$

$$n_y = - \sum_m \sum_n F_{mn} \omega_m^2 \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \quad (44a-c)$$

$$n_{xy} = + \sum_m \sum_n F_{mn} \cdot \omega_m \omega_n \cdot \cos \omega_m x \cdot \sin \omega_n y,$$

és

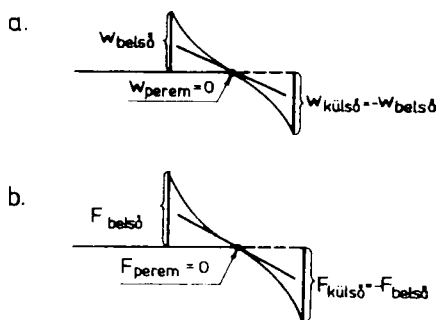
$$m_x = + K \sum_m \sum_n w_{mn} \omega_m^2 \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y,$$

$$m_y = + K \sum_m \sum_n w_{mn} \omega_n^2 \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y, \quad (44d-f)$$

$$m_{xy} = + K \sum_m \sum_n w_{mn} \omega_m \omega_n \cdot \cos \omega_m x \cdot \sin \omega_n y.$$

#### 4. Numerikus megoldás

A numerikus megoldás a közönséges *véges differenciák* módszerén alapul (lásd pl. [5]-öt). Ehhez a peremfeltételek alapján meg kell határoznunk a perem mentén és egy, a peremen túl levő (fiktív) pontsorban  $F$  és  $w$  értékeit.



4. ábra

A  $w$ -re érvényes (2a) és (2b) peremfeltételek szerint  $w$  a peremen és a két szomszédos osztáspont-sorban a 4a. ábrának megfelelő értékeket veszi fel (0-tól különböző  $v$  esetében is).

Az  $F$  feszültségfüggvényt a (2c) és (2d) peremfeltételek kötik meg. Az első szerint  $\partial^2 F / \partial s^2 = 0$ , azaz  $F$  a perem mentén legfeljebb lineárisan változhat. Mivel azonban a membránmetszeterők szempontjából érdektelen  $F$ -nek konstans és lineáris része, ezért  $F$ -et az egyszerűség kedvéért 0-nak vesszük az egész peremen.

A (2d) peremfeltétel  $\partial^2 F / \partial n^2 = 0$ -val egyenértékű, ami a 4b. ábrának megfelelő  $F$ -értékeket szabja meg a peremmel szomszédos osztáspont-sorokban.

Mindezek alapján tehát csak a peremeken belül fekvő osztáspontokban lépnek fel  $F$  és  $w$  ismeretlenekként. Az egyenletek felírásához még szükség van a perem mentén és a peremen kívüli pontsorban érvényes  $F$  és  $w$ -értékekre, de ezek nem jelentenek új ismeretlent. Így pl.  $6 \times 6$  részre felosztva a tartományt, 25 belső pontunk lesz, azaz 50 ismeretlenünk, ami  $50 \times 50$ -es együttható-mátrixú lineáris egyenletrendszert jelent.

Az egyenletrendszer  $A$  mátrixa a következő struktúrájú lesz (vö. a (3a—b) egyenletekkel):

$$[A]_{50 \times 50} \cdot \begin{bmatrix} F \\ 25 \times 1 \\ w \\ 25 \times 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & Q \\ 25 \times 25 & 25 \times 25 \\ R & S \\ 25 \times 25 & 25 \times 25 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F \\ 25 \times 1 \\ w \\ 25 \times 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O \\ 25 \times 1 \\ P \\ 25 \times 1 \end{bmatrix}, \quad (45)$$

Itt az első 25 sor a belső pontokra felírt (3a) összeférhetőséget kifejező egyenletet, a második 25 sor pedig a (3b) egyensúlyi differenciálegyenletet reprezentálja.

Ilyenformán a  $P_{25 \times 25}$  mátrix a biharmonikus differenciaoperátorokat, a  $-R_{25 \times 25}$  mátrix pedig a Pucher-operátornak megfelelő differencia-operátorokat tartalmazza. Értelmszerűen:

$$\underset{25 \times 25}{Q} = \underset{25 \times 25}{D} R \quad \text{és} \quad \underset{25 \times 25}{S} = \underset{25 \times 25}{K} P.$$

Az így particionált mátrixot a Frobenius-módszerrel invertáljuk [3]. Ennek lényege a következő:

Írjuk fel az inverz mátrixot is az

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} Y & Z \\ U & V \end{bmatrix} \quad (46)$$

particionált alakban. A reciprokmátrix definíciója szerint  $A \cdot A^{-1}$  az  $E$  egység-mátrixszal egyenlő:  $AA^{-1} = E$ . Részletesen felírva:

$$A \cdot A^{-1} = \begin{bmatrix} PY + QU & PZ + QV \\ RY + SU & RZ + SV \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & O \\ O & E \end{bmatrix}, \quad (47)$$

azaz

$$\left. \begin{aligned} PY + QU &= E, \\ PZ + QV &= O, \\ RY + SU &= O, \\ RZ + SV &= E. \end{aligned} \right\} \quad (48a-d)$$

(48b)-t előlről  $(-RP^{-1})$ -gyel szorozzuk és összeadjuk (48d)-vel:

$$(S - RP^{-1}Q)V = E,$$



azaz

$$\mathbf{V} = (\mathbf{S} - \mathbf{R}\mathbf{P}^{-1}\mathbf{Q})^{-1}. \quad (49)$$

(48b)-ből:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{P}^{-1}(-\mathbf{Q}\mathbf{V}). \quad (50)$$

Ezzel tulajdonképpen meg is oldottuk a feladatot.  $\mathbf{Y}$ -ra és  $\mathbf{U}$ -ra ugyanis nincs szükségünk, mivel a keresett  $\mathbf{F}$  és  $\mathbf{w}$  vektorokat az

$$\begin{bmatrix} \mathbf{F} \\ \mathbf{w} \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y} & \mathbf{Z} \\ \mathbf{U} & \mathbf{V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{p} \end{bmatrix} \quad (51)$$

művelet szolgáltatja, és ebben  $\mathbf{Y}$ -t és  $\mathbf{U}$ -t mindig  $\mathbf{0}$ -val kellene szorozni.

Ily módon tehát nem kell az egész egyenletrendszer  $\mathbf{A}$  mátrixát invertálnunk, hanem — felhasználva azt a tényt, hogy a kompatibilitási egyenletek jobboldala mindig  $\mathbf{0}$  — elegendő az  $\mathbf{A}$  negyedét képező rész-mátrixokkal néhány műveletet és invertálást végeznünk.

Az egyenletrendszer megoldását ezek után visszahelyettesítéssel ellenőrizzük. (Az eredmények esetleg tovább javíthatók a Southwell-féle blokk-relaxálással [2], azonban nem igazolható, hogy ez az eljárás minden esetben konvergens.)

A kapott  $\mathbf{F}$ - és  $\mathbf{w}$ -értékekből a (25)—(26) képleteknek megfelelő differencia-kifejezésekkel számíthatjuk ki minden pontra a metszeterőket.

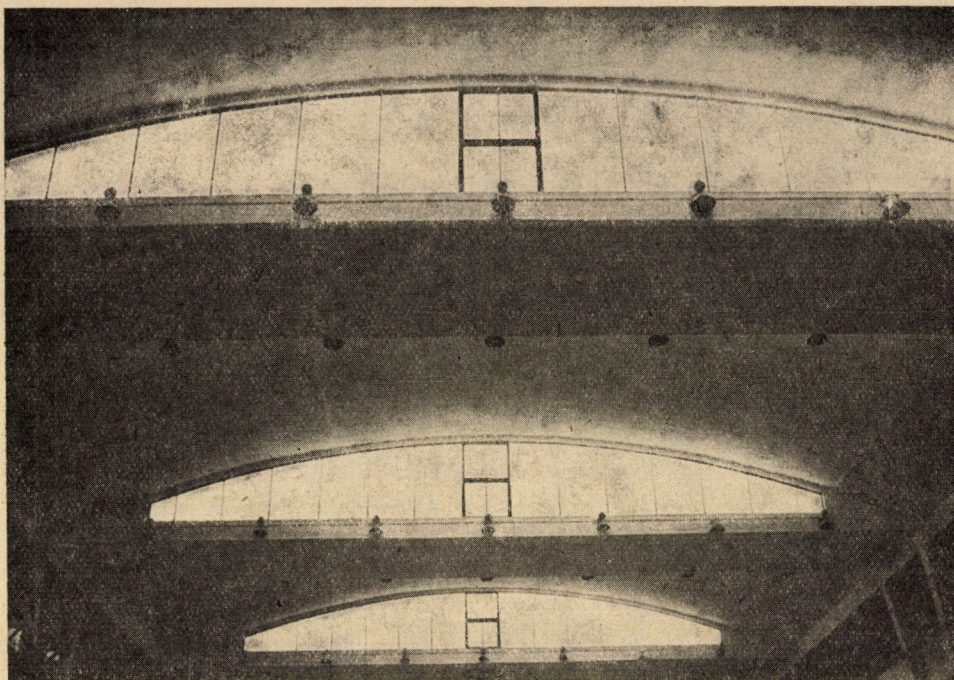
## 5. Egy megépült héjszerkezet erőjátékának meghatározása

Az elmondottak illusztrálására közöljük egy megépült héjszerkezetű csarnok (5. ábra és [4]) metszeterőinek a leírt módszerekkel kiszámított értékeit és összehasonlítjuk őket egymással, másrészt a szerkezet 1 : 15 méretarányú modelljén (6. ábra) mért eredményekkel. (A modellkísérlet a Budapesti Műszaki Egyetem Acélszerkezeti Tanszékének laboratóriumában készült, SZITNER Antal vezetésével.)

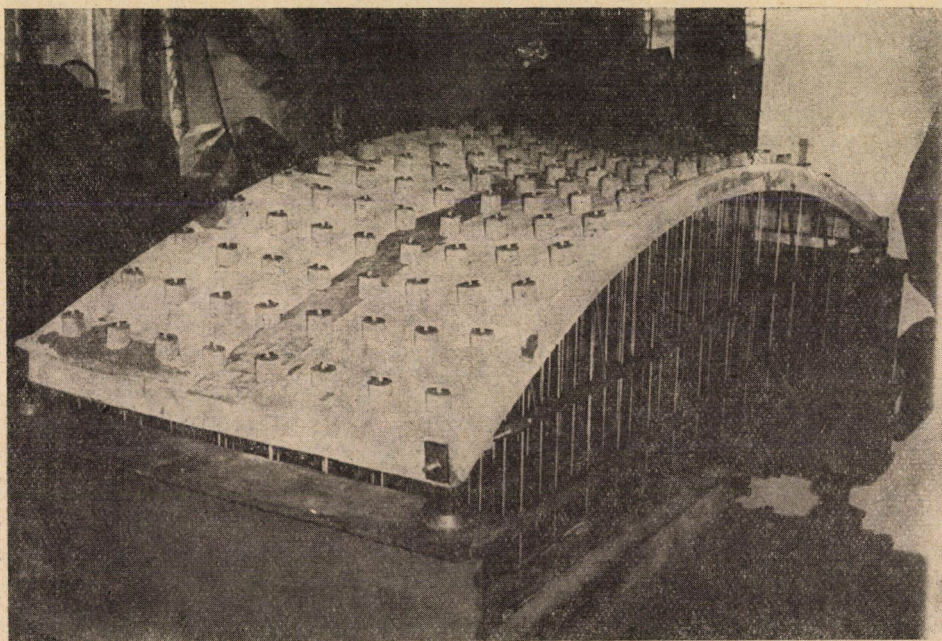
A szerkezet fő méreteit a 7. ábra mutatja. A metszeterőket az egyszerűség kedvéért 0,100 Mp/m<sup>2</sup> intenzitású vízszintes vetületben egyenletesen megoszló teherre vonatkoztatva adjuk meg.

Kiszámítottuk a héj hat metszeterőjét ( $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_{xy}$ ,  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_{xy}$ ) a 8. alaprajzi ábrán feltüntetett 16 pontban, mégpedig egyrészt az analitikus módszerrel (3. fejezet),  $F$  és  $w$  kettős Fourier-sorából 2 + 2, 3 + 3, 4 + 4 és 5 + 5 tagot véve, majd a 4. fejezetben leírt differencia-módszerrel, 6 × 6 részre felosztva alaprajzban a héjat. Az eredményeket a 16 pontnak megfelelően számozott S.1.—S.16. táblázatokban állítottuk össze a szimmetrikus (totális) teherre, az A.1.—A.16. táblázatokban pedig a 2. ábrának megfelelő antimetrikus teherre.



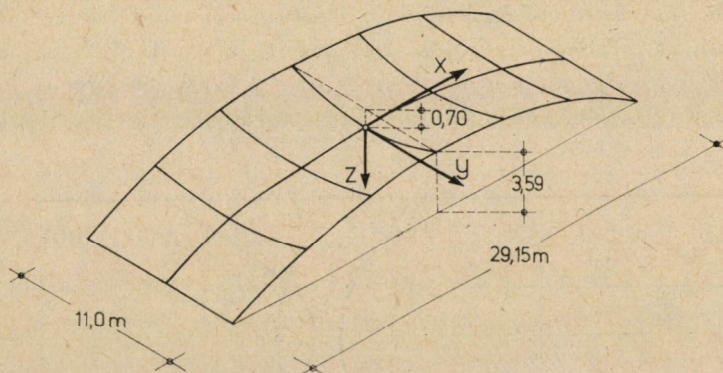


5. ábra. A csarnok belseje

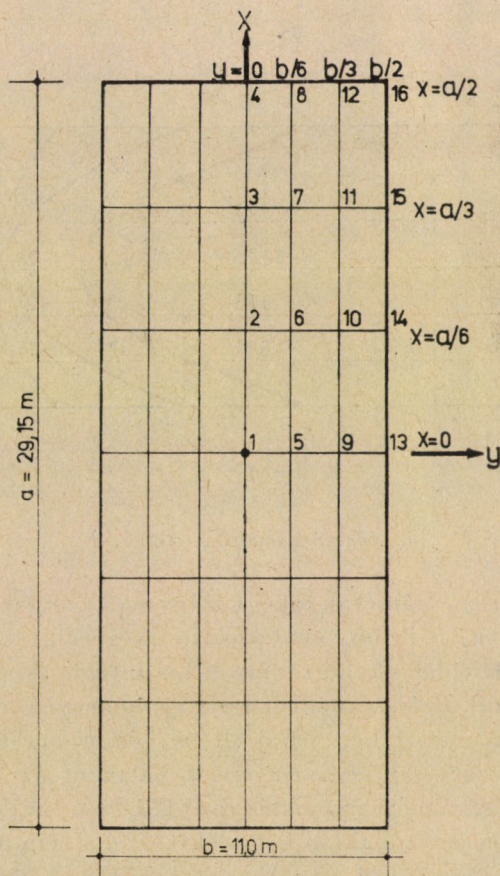


6. ábra. A modell fényképe





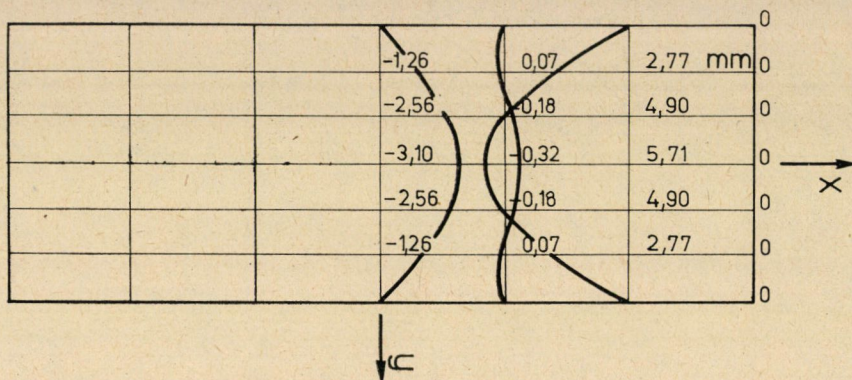
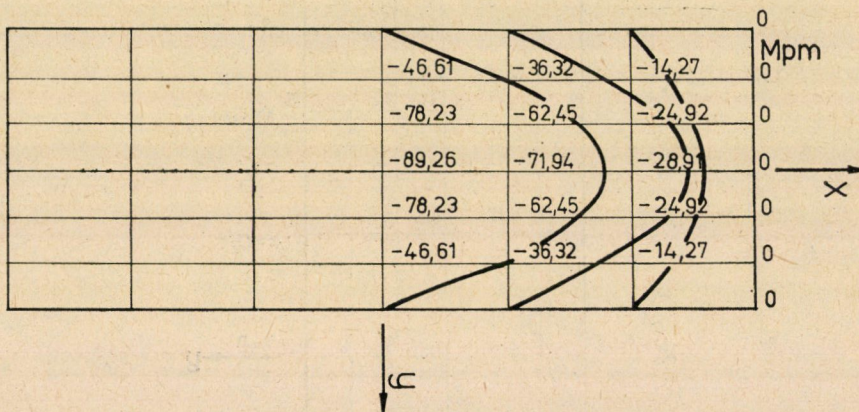
7. ábra



8. ábra

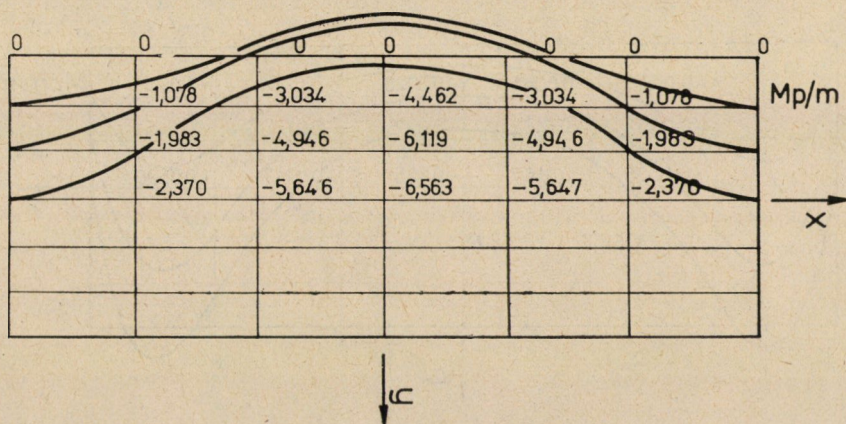
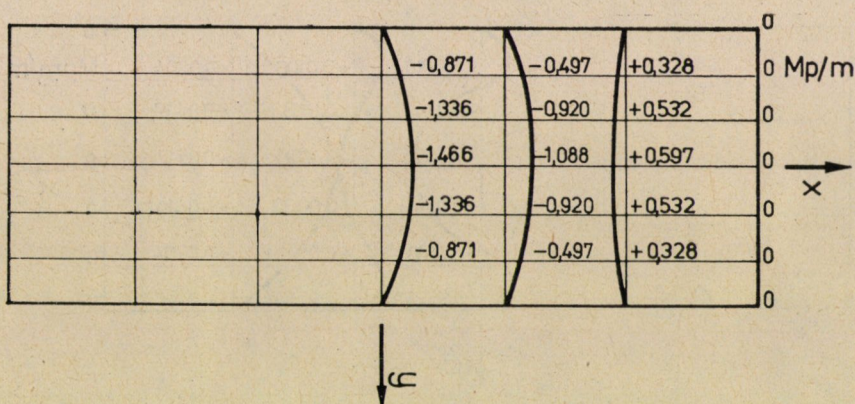
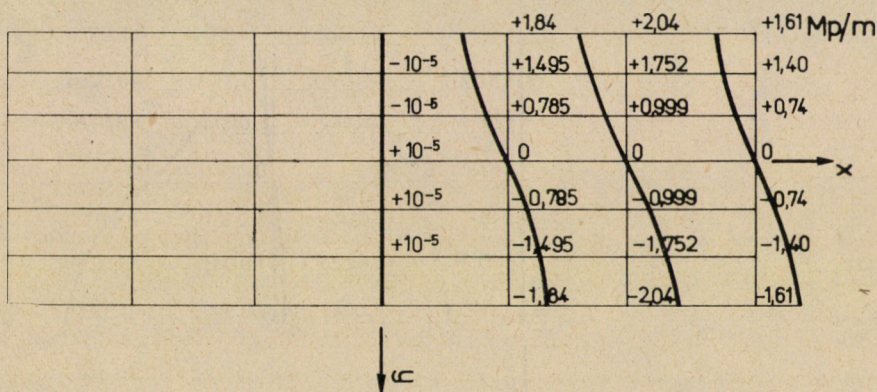


A jobb áttekinthetőség kedvéért diagrammban is feltüntettük a (pontosnak tekintett) differencia-módszerrel kapott metszeterők eloszlását a héj egész területén, valamint a  $w$  lehajlás és az  $F$  feszültségfüggvény értékeit is, mégpedig a 9—16. ábrákon a szimmetrikus (totális), a 17—24. ábrákon pedig az antimetrikus terherre.

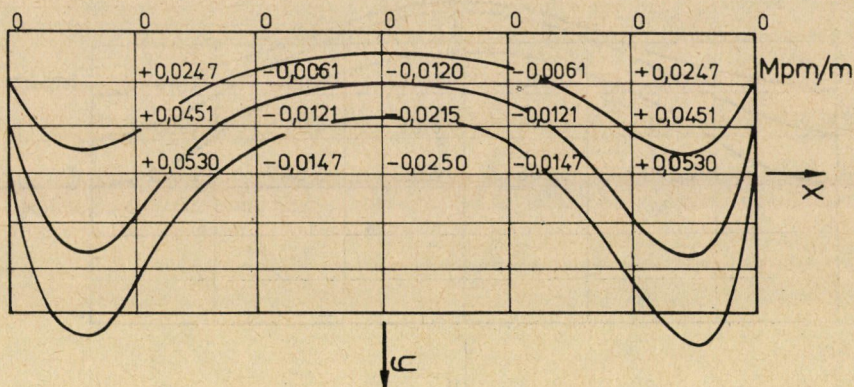
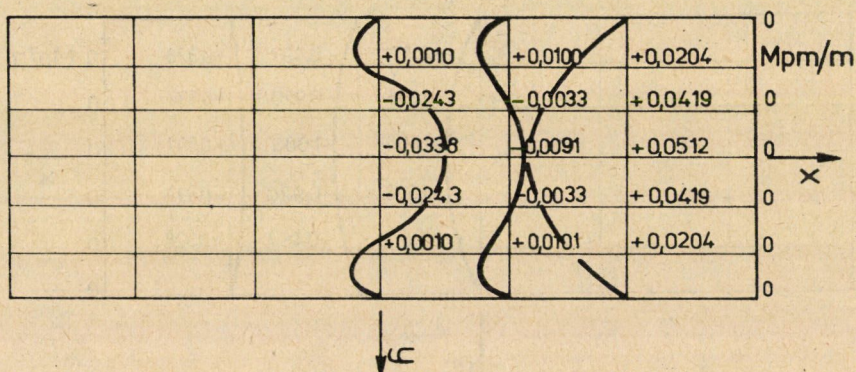
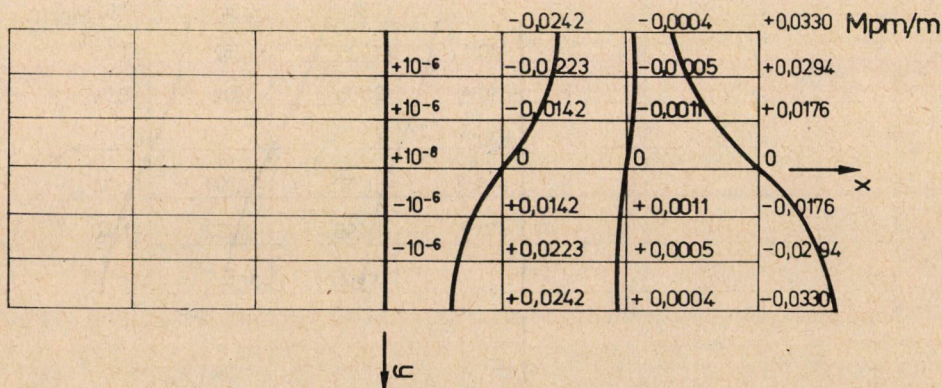
9. ábra. Szimmetrikus terher,  $w$ 10. ábra. Szimmetrikus terher,  $F$ 

A modellkísérlet során csak a héj középvonalában (az  $x$  tengely mentén) mértük az  $m_x$  és  $m_y$  hajlítónyomatékokat, mégpedig szimmetrikus totális terherre, valamint féloldalas terherre (mivel az antimetrikus terhet igen nehéz lett volna előállítani). Ezért a modellkísérlet eredményeit az  $x$  tengely mentén felvett hosszirányú metszetben felrajzolt  $m_x$  és  $m_y$ -ábrákban hasonlítottuk össze a differencia-módszer eredményeivel, valamint az analitikus módszer  $2 + 2$  és  $5 + 5$  taggal kapott nyomatékaival (25—28. ábrák). A modellkísérlet mérési adatait egyenes vonalakkal kötöttük össze, a számításból kapott diagrammokat viszont — a 9—24. ábrákhoz hasonlóan — görbe vonalakkal ábrázoltuk.

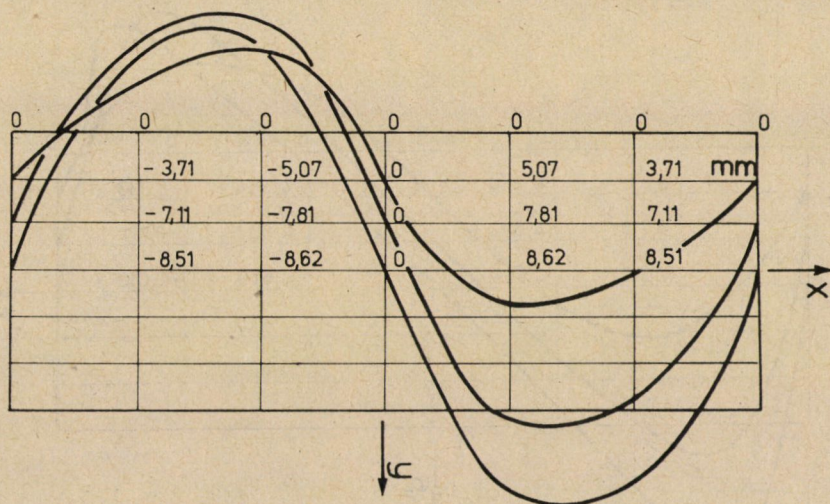
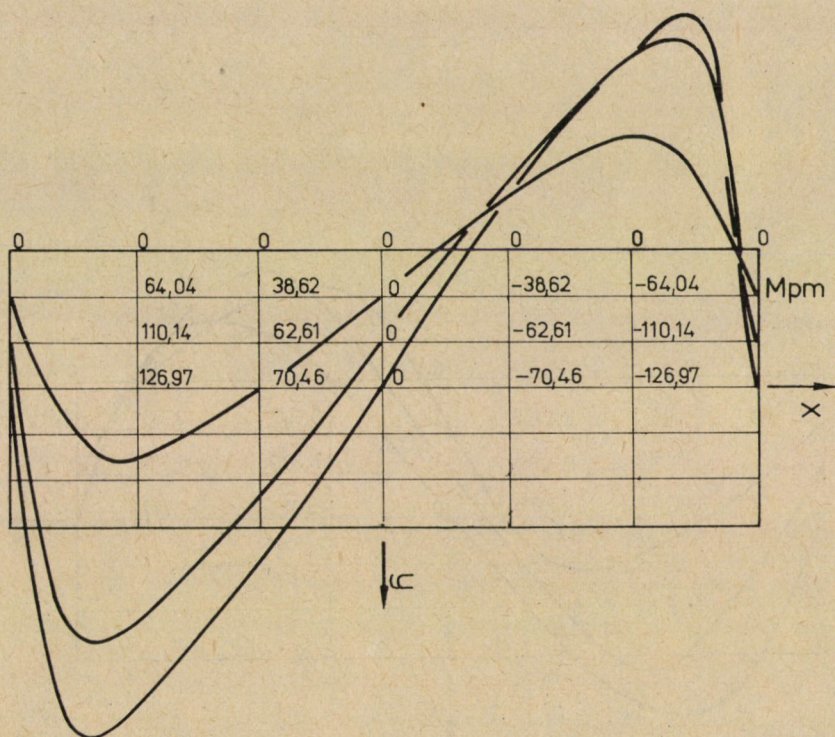



 11. ábra. Szimmetrikus teher,  $n_x$ 

 12. ábra. Szimmetrikus teher,  $n_y$ 

 13. ábra. Szimmetrikus teher,  $n_{xy}$

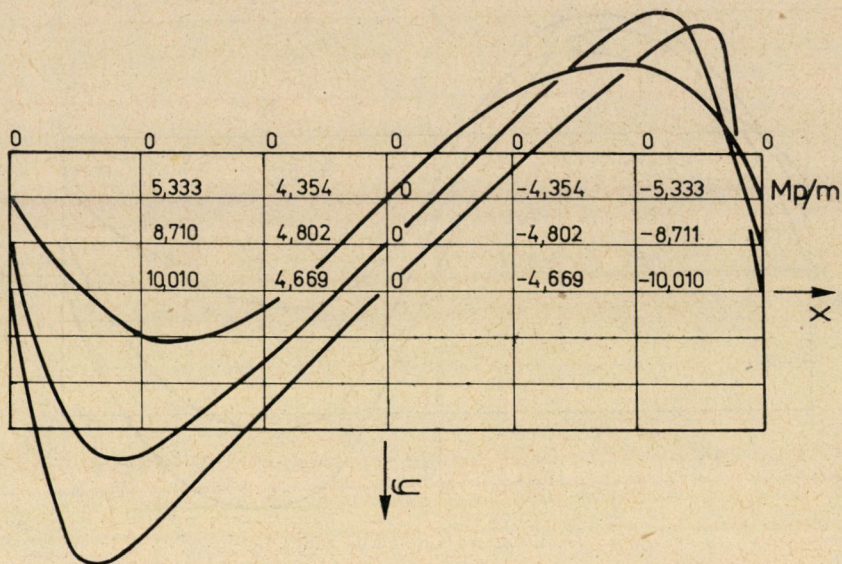
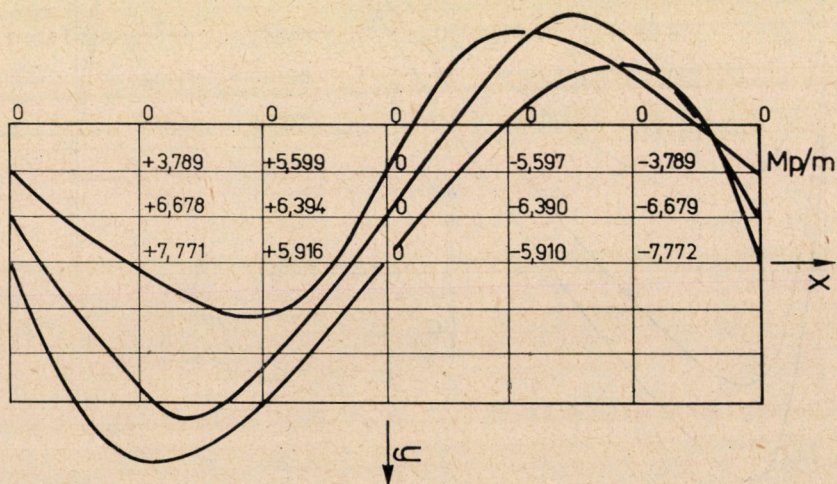


14. ábra. Szimmetrikus teher,  $m_x$ 15. ábra. Szimmetrikus teher,  $m_y$ 16. ábra. Szimmetrikus teher,  $\bar{m}_{xy}$

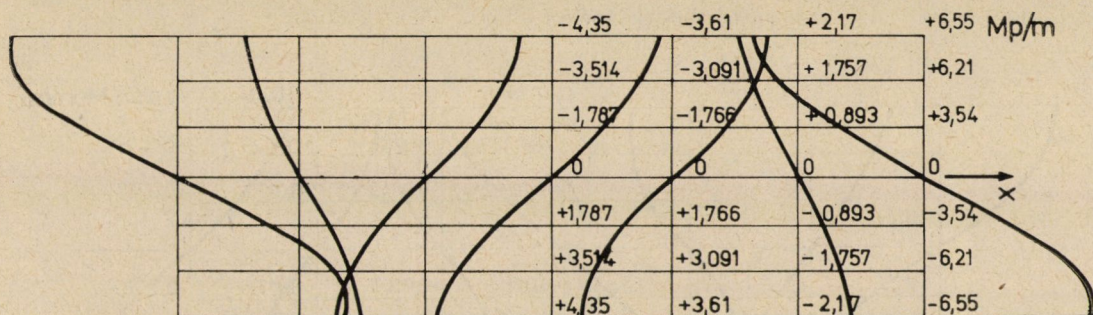



 17. ábra. Antimetrikus teher,  $w$ 

 18. ábra. Antimetrikus teher,  $F$

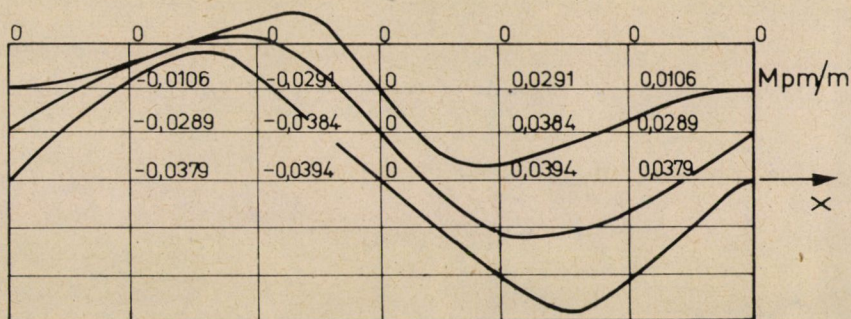


19. ábra. Antimetrikus teher,  $n_x$ 20. ábra. Antimetrikus teher,  $n_y$

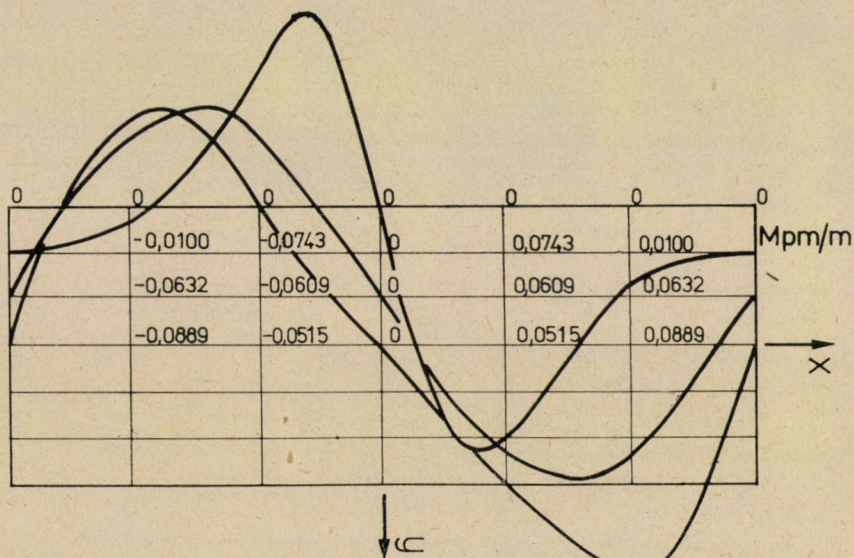




21. ábra. Antimetrikus teher,  $n_{xy}$

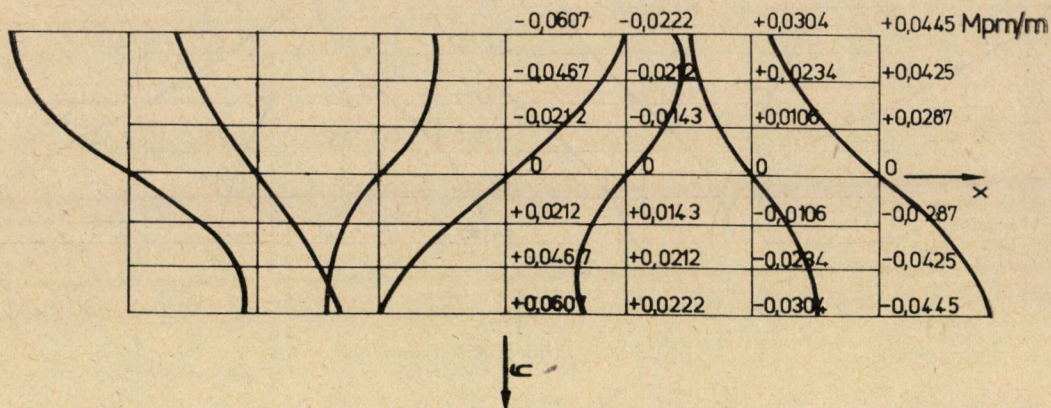
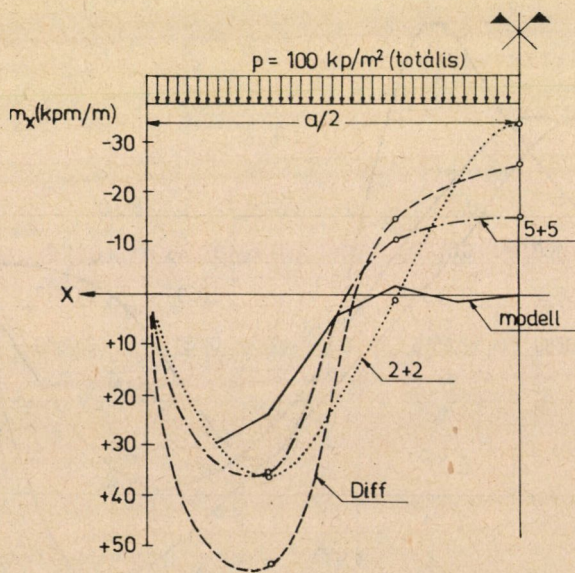


22. ábra. Antimetrikus teher,  $m_x$



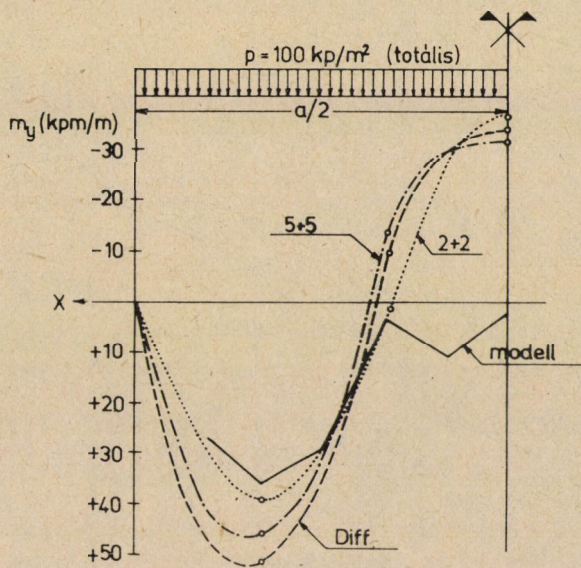
23. ábra. Antimetrikus teher,  $m_y$



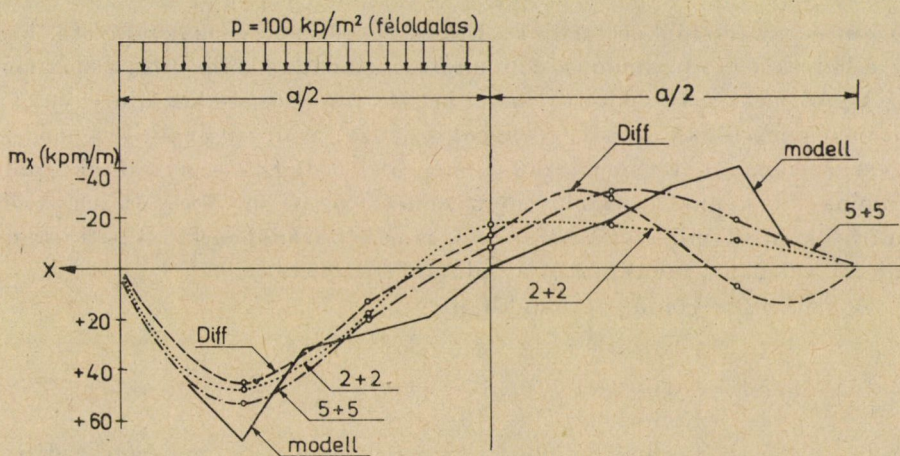
24. ábra. Antimetrikus teher,  $m_{xy}$ 

25. ábra



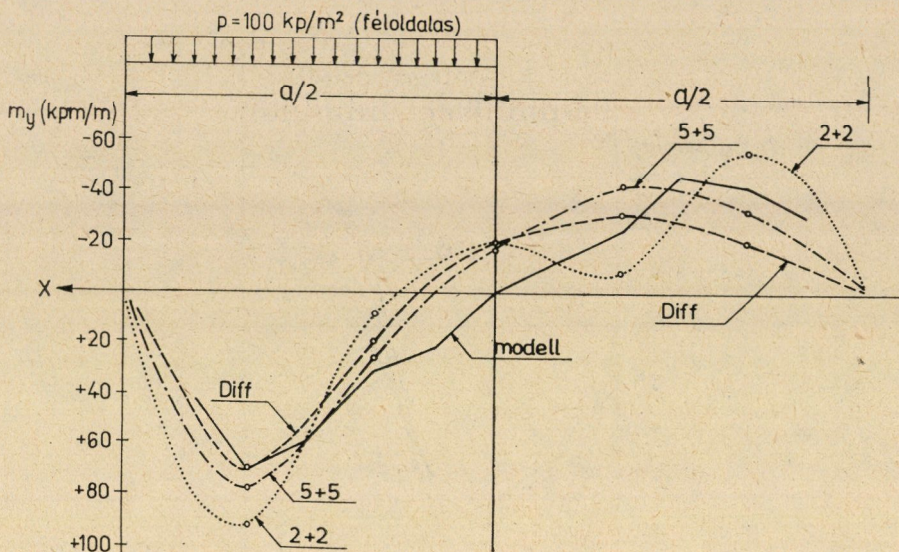


26. ábra



27. ábra





28. ábra

A továbbiakban a differencia-módszert fogadjuk el „pontos megoldás”-nak, s ehhez viszonyítjuk az analitikus megoldást. Ily módon az eredményekből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le a bemutatott módszerek előnyeire és hátrányaira vonatkozóan:

A differencia-módszer hátránya nagy gépidő-szükséglete (példánkban 2—3 Elliott 803-as gépóra).

Az analitikus módszer kevésbé pontos, de már a  $2 + 2$  taggal számított megoldás is jó közelítést nyújt, különösen a maximális igénybevételek értékére. A tagok számának növelésével csak lassan nő a pontosság. A legnagyobb eltérést az A.2., A.6., A.10. táblázatok  $n_y$ -értékeiben, valamint az A.15. és A.16. táblázatok  $n_{xy}$ -értékeiben találjuk. Ennek egyrészt az a magyarázata, hogy ezek a helyek nem maximumok, hanem itt emelkedik a görbe 0-tól a maximum felé. A görbének ez a szakasza tehát a kétféle számítás szerint mintegy el van tolódva egymástól. Másrészt itt jelentkezik az, amit az analitikus módszer konvergenciájára fent mondtunk: még  $5 + 5$  taggal sem tudunk pontos eredményeket kapni, legalábbis nem minden pontban. Más, összehasonlító számítások is azt mutatták, hogy csak mindkét irányban kb. 12—15 taggal érünk el valóban „pontosnak” mondható eredményt.

A szükséges gépidő (példánkban)

$2 + 2$  taghoz  $3 \div 4$  perc

$3 + 3$  taghoz  $6 \div 8$  perc

$4 + 4$  taghoz  $30 \div 40$  perc

$5 + 5$  taghoz  $90 \div 125$  perc, azaz már majdnem eléri a

differencia-módszer gépidéjét.



Láthatjuk, hogy az analitikus módszer fő előnye: igen kis gépidő-szükséglettel (2+2 taggal) is már jó közelítő értékeket szolgáltat. Véleményünk szerint tehát közelítő, előzetes számításokhoz használhatjuk előnyösen.

### TÁBLÁZATOK

A metszeterők különböző módszerekkel kapott számértéke, a 8. ábrán jelzett pontokban.

Magyarázat:

$\left. \begin{array}{l} 2+2 \\ 3+3 \\ \text{stb.} \end{array} \right\}$  Az analitikus megoldás Fourier-sorából figyelembe vett tagok száma.  
 Diff. A differenciámódszerrel kapott megoldás.  
 $n_x, n_y, n_{xy}$  Mp/m dimenzióban,  
 $m_x, m_y, m_{xy}$  Mpm/m dimenzióban értendő.

### S.1. — S.16. táblázatok

Metszeterők 100 kp/m<sup>2</sup> szimmetrikus totális teherre.

#### S.1. táblázat

$$x = 0, y = 0$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -7,115 | -2,186 | 0        | -0,0337 | -0,0363 | 0        |
| 3+3   | -6,000 | -1,044 | 0        | -0,0054 | -0,0289 | 0        |
| 4+4   | -6,216 | -1,272 | 0        | -0,0344 | -0,0351 | 0        |
| 5+5   | -5,972 | -1,249 | 0        | -0,0151 | -0,0312 | 0        |
| Diff. | -6,563 | -1,466 | 0        | -0,0250 | -0,0338 | 0        |

#### S.2. táblázat

$$x = a/6, y = 0$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -5,485 | -0,814 | 0        | +0,0011 | +0,0016 | 0        |
| 5+5   | -5,406 | -1,001 | 0        | -0,0101 | -0,0132 | 0        |
| Diff. | -5,647 | -1,088 | 0        | -0,0147 | -0,0091 | 0        |

#### S.3. táblázat

$$x = a/3, y = 0$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -2,386 | +0,775 | 0        | +0,0357 | +0,0391 | 0        |
| 3+3   | -2,723 | +0,571 | 0        | +0,0736 | +0,0554 | 0        |
| 4+4   | -3,235 | -0,012 | 0        | +0,0576 | +0,0504 | 0        |
| 5+5   | -3,388 | +0,219 | 0        | +0,0346 | +0,0459 | 0        |
| Diff. | -2,370 | +0,597 | 0        | +0,0530 | +0,0512 | 0        |

## S.4. táblázat

$$x = a/2, \quad y = 0$$

Minden metszeterő zérus

## S.5. táblázat

$$x = 0, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -6,611 | -1,924 | 0        | -0,0276 | -0,0138 | 0        |
| 5+5   | -5,776 | -1,255 | 0        | -0,0134 | -0,0218 | 0        |
| Diff. | -6,119 | -1,336 | 0        | -0,0215 | -0,0243 | 0        |

## S.6. táblázat

$$x = a/6, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -4,978 | -0,709 | 1,090    | +0,0011 | +0,0075 | +0,0189  |
| 5+5   | -4,871 | -0,967 | -0,593   | -0,0083 | -0,0035 | +0,0147  |
| Diff. | -4,946 | -0,920 | -0,785   | -0,0121 | -0,0033 | +0,0142  |

## S.7. táblázat

$$x = a/3, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -2,012 | -0,696 | -1,051   | -0,0294 | +0,0268 | 0,0007   |
| 5+5   | -2,489 | +0,526 | -1,356   | +0,0300 | +0,0351 | -0,0232  |
| Diff. | -1,983 | +0,532 | -0,999   | +0,0451 | -0,0419 | -0,0011  |

## S.8. táblázat

$$x = a/2, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -0,732   | 0     | 0     | -0,0202  |
| 5+5   | 0     | 0     | -0,623   | 0     | 0     | -0,0539  |
| Diff. | 0     | 0     | -0,740   | 0     | 0     | -0,0176  |

## S.9. táblázat

$$x = 0, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -4,335 | -1,146 | 0        | -0,0141 | +0,0123 | 0        |
| 5+5   | -4,556 | -0,991 | 0        | -0,0092 | +0,0048 | 0        |
| Diff. | -4,462 | -0,871 | 0        | -0,0120 | +0,0010 | 0        |



S.10. táblázat

$$x = a/6, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -3,137 | -0,413 | -2,061   | +0,0007 | +0,0114 | +0,0238  |
| 5+5   | -3,133 | -0,690 | -1,359   | -0,0049 | +0,0148 | +0,0264  |
| Diff. | -3,034 | -0,497 | -1,495   | -0,0061 | +0,0100 | +0,0223  |

S.11. táblázat

$$x = a/3, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -1,098 | +0,430 | -1,878   | +0,0153 | +0,0074 | -0,0028  |
| 5+5   | -0,894 | +0,780 | -1,749   | +0,0197 | +0,0191 | +0,0260  |
| Diff. | -1,078 | +0,328 | -1,752   | +0,0247 | +0,0204 | +0,0005  |

S.12. táblázat

$$x = a/2, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -1,193   | 0     | 0     | -0,0287  |
| 5+5   | 0     | 0     | -1,968   | 0     | 0     | -0,0758  |
| Diff. | 0     | 0     | -1,400   | 0     | 0     | -0,0294  |

S.13. táblázat

$$x = 0, \quad y = b/2$$

Minden metszeterő zérus

S.14. táblázat

$$x = a/6, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -2,480   | 0     | 0     | +0,0224  |
| 5+5   | 0     | 0     | -1,844   | 0     | 0     | +0,0243  |
| Diff. | 0     | 0     | -1,840   | 0     | 0     | +0,0242  |

S.15. táblázat

$$x = a/3, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -2,202   | 0     | 0     | -0,0042  |
| 5+5   | 0     | 0     | -1,246   | 0     | 0     | +0,0163  |
| Diff. | 0     | 0     | -2,040   | 0     | 0     | +0,0004  |

S.16. táblázat

$$x = a/2, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -1,334   | 0     | 0     | -0,0296  |
| 3+3   | 0     | 0     | -1,916   | 0     | 0     | -0,0596  |
| 4+4   | 0     | 0     | -2,887   | 0     | 0     | -0,0676  |
| 5+5   | 0     | 0     | -3,508   | 0     | 0     | -0,0663  |
| Diff. | 0     | 0     | -1,610   | 0     | 0     | -0,0330  |

A.1.—A.16. táblázatok

*Metszeterők 100 kp/m<sup>2</sup> antimetrikus teherre. (2. ábra)*

A.1. táblázat

$$x = 0, \quad y = 0$$

Minden metszeterő zérus

A.2. táblázat

$$x = a/6, \quad y = 0$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -3,920 | +0,830 | 0        | +0,0364 | +0,0142 | 0        |
| 5+5   | -4,010 | -0,186 | 0        | +0,0498 | +0,0679 | 0        |
| Diff. | -4,669 | -5,910 | 0        | +0,0394 | +0,0515 | 0        |

A.3. táblázat

$$x = a/3, \quad y = 0$$

|       | $n_x$   | $n_y$   | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -10,429 | -10,049 | 0        | +0,0587 | +0,1464 | 0        |
| 3+3   | -10,307 | -10,051 | 0        | +0,0451 | +0,1168 | 0        |
| 4+4   | -9,496  | -7,957  | 0        | +0,0580 | +0,1116 | 0        |
| 5+5   | -9,727  | -7,581  | 0        | +0,0717 | +0,1089 | 0        |
| Diff. | -10,010 | -7,772  | 0        | +0,0379 | +0,0889 | 0        |

A.4. táblázat

$$x = a/2, \quad y = 0$$

Minden metszeterő zérus

## A.5. táblázat

$$x = 0, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | +0,723   | 0     | 0     | -0,0021  |
| 5+5   | 0     | 0     | +1,118   | 0     | 0     | +0,0317  |
| Diff. | 0     | 0     | +1,787   | 0     | 0     | +0,0212  |

## A.6. táblázat

$$x = a/6, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -5,134 | +0,448 | +2,915   | +0,0468 | +0,0750 | +0,0366  |
| 5+5   | -4,488 | -0,269 | +2,084   | +0,0481 | +0,0795 | +0,0253  |
| Diff. | -4,802 | -6,390 | +1,766   | +0,0384 | +0,0609 | +0,0143  |

## A.7. táblázat

$$x = a/3, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -9,082 | -8,546 | -0,362   | +0,0359 | +0,0702 | +0,0010  |
| 5+5   | -7,995 | -6,419 | +0,741   | +0,0777 | +0,0841 | +0,0107  |
| Diff. | -8,711 | -6,679 | -0,893   | +0,0289 | +0,0632 | -0,0106  |

## A.8. táblázat

$$x = a/2, \quad y = b/6$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -5,829   | 0     | 0     | -0,0731  |
| 5+5   | 0     | 0     | -6,767   | 0     | 0     | -0,1037  |
| Diff. | 0     | 0     | -3,540   | 0     | 0     | -0,0287  |

## A.9. táblázat

$$x = 0, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | +2,754   | 0     | 0     | +0,0675  |
| 5+5   | 0     | 0     | +2,893   | 0     | 0     | +0,0751  |
| Diff. | 0     | 0     | +3,514   | 0     | 0     | +0,0467  |

A.10. táblázat

$$x = a/6, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -4,973 | -0,054 | +4,817   | +0,0447 | +0,1158 | +0,0296  |
| 5+5   | -4,653 | -0,358 | +4,014   | +0,0370 | +0,1017 | +0,0368  |
| Diff. | -4,354 | -5,597 | +3,091   | +0,0291 | +0,0743 | +0,0212  |

A.11. táblázat

$$x = a/3, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$  | $n_y$  | $n_{xy}$ | $m_x$   | $m_y$   | $m_{xy}$ |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|----------|
| 2+2   | -5,301 | -4,752 | -1,377   | +0,0035 | -0,0247 | -0,0337  |
| 5+5   | -5,830 | -4,077 | -0,249   | +0,0695 | +0,0156 | -0,0520  |
| Diff. | -5,333 | -3,789 | 1,757    | +0,0106 | +0,0100 | -0,0234  |

A.12. táblázat

$$x = a/2, \quad y = b/3$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -9,634   | 0     | 0     | -0,0591  |
| 5+5   | 0     | 0     | -11,419  | 0     | 0     | -0,0448  |
| Diff. | 0     | 0     | -6,210   | 0     | 0     | -0,0425  |

A.13. táblázat

$$x = 0, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | +4,047   | 0     | 0     | +0,1189  |
| 5+5   | 0     | 0     | +3,636   | 0     | 0     | +0,1146  |
| Diff. | 0     | 0     | +4,350   | 0     | 0     | +0,0607  |

A.14. táblázat

$$x = a/6, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | +5,429   | 0     | 0     | +0,0147  |
| 5+5   | 0     | 0     | +4,690   | 0     | 0     | +0,0309  |
| Diff. | 0     | 0     | +3,610   | 0     | 0     | +0,0222  |

A.15. táblázat

$$x = a/3, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -2,024   | 0     | 0     | -0,0595  |
| 5+5   | 0     | 0     | -0,619   | 0     | 0     | -0,1456  |
| Diff. | 0     | 0     | -2,170   | 0     | 0     | -0,0304  |

A.16. táblázat

$$x = a/2, \quad y = b/2$$

|       | $n_x$ | $n_y$ | $n_{xy}$ | $m_x$ | $m_y$ | $m_{xy}$ |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| 2+2   | 0     | 0     | -10,858  | 0     | 0     | -0,0293  |
| 3+3   | 0     | 0     | -11,782  | 0     | 0     | +0,0280  |
| 4+4   | 0     | 0     | -12,164  | 0     | 0     | +0,0856  |
| 5+5   | 0     | 0     | -11,778  | 0     | 0     | +0,1147  |
| Diff. | 0     | 0     | -6,550   | 0     | 0     | -0,0445  |

## IRODALOM

1. FLÜGGE, W.: Statik und Dynamik der Schalen (3. Aufl.). Springer Verlag, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1962.
2. HOLNAPY D.: A rácpont módszer egy mérnöki szempontból fontos általánosításáról. *Mélyépítéstudományi Szemle*, 17 (1967), 273—274.
3. KIS OTTÓ: Számítási módszerek I. Felsőoktatási Jegyzetellátó, Budapest 1965.
4. KOLLÁR L.: Design and Erection of a Shell with a Surface of Fourth Order in: Large-Span Shells. (Proc. IASS-Congr. Leningrad, 1966). Tsini Moscow, 1968. Vol. I. p. 255. A Székesfehérvári Könnyűfémű bővítés II. ütemének héjszerkezetei. *Mélyépítéstudományi Szemle*, 1969. 541—545.
5. SOARE, M.: Application of Finite Difference Equations to Shell Analysis. Pergamon Press, London — Academy of Roumania, Bucharest 1967.
6. SZMODITS K.: Analysis of Shallow Shells of General Shape. Proceedings of the IASS-Symposium on Shell Structures in Engineering Practice, Budapest, 1965. *Építéstudományi Intézet*, 1966.

**Bending Analysis of a Symmetrically or Antisymmetrically Loaded Straight-Edge Shell with Surface of Fourth Order.** The equations of shell structures formed with surfaces of higher than the second order, are of variable coefficients. The difficulties arising herefrom may be overcome either by using a special analytic method or by applying the difference-computation. These two methods are presented first in general use, and then on the specified data of an executed shell structure also checked by means of a model test. Besides the numerical comparison the two procedures are also theoretically evaluated.

**Berechnung einer gebogenen symmetrisch und antisymmetrisch belasteten Schalenfläche vierter Ordnung mit geraden Rändern.** Die Gleichungen von Schalen, die mit einer Oberfläche von höherer als zweiter Ordnung ausgebildet sind, haben veränderliche Koeffizienten. Die daraus entstehenden Schwierigkeiten können entweder mit Hilfe einer speziellen analytischen Methode oder der Differenzenrechnung überwältigt werden. Der Verfasser führt diese zwei Verfahren vor, und zwar erstens im allgemeinen Gebrauch und dann mit den konkreten Angaben einer schon ausgeführten Schalenkonstruktion die auch mit einem Modellversuch kontrolliert wurde. Ausser der numerischen Gegenüberstellung wurden die zwei Methoden auch theoretisch ausgewertet.





# A BUDAPESTI FÖLDALATTI VASÚT ÚJ TÍPUSÚ ÁLLOMÁSÁNAK MODELLKÍSÉRLETE

FARKAS MIHÁLY, KÖRÖNDI LÁSZLÓ, KRISTÓF LÁSZLÓ, SZITTNER ANTAL,  
TOMKA PÁL ÉS VISONTAI JÓZSEF\*

(Beérkezett: 1969. okt. 27.)

A BME Acélszerkezetek tanszéke 1966—67-ben széles körű modellkísérleteket végzett a Budapesti Földalatti Vasút új típusú állomásával kapcsolatos elméleti és kiviteli kérdések tisztázása végett. A kísérletek során többféle talaj- és szerkezeti változat esetében megállapították a talajban és az alagútszerkezetben ébredő feszültségeket és igénybevételeket. A vizsgálatok folyamán a mérendő mennyiségek jellegének és nagyságának megfelelően a kísérleti feszültséganalízis módszereinek széles skáláját vonultatták fel. A cikk vázlatosan bemutatja a mérési eredmények alapján a tényleges szerkezetre átszámított igénybevételeket, illetve ezeknek és, a fontosabb talajjellemzőknek a kapcsolatát.

## 1. Bevezetés

A Budapesti Földalatti Vasút új típusú állomásával kapcsolatos elméleti és kiviteli kérdések tisztázására a BME Acélszerkezetek tanszékén széles körű modellkísérleteket végeztek. A modellkísérletek célja a talajban és az alagútszerkezetben ébredő feszültségek és igénybevételek megállapítása volt. A kísérletek során többféle talaj és szerkezeti változat került vizsgálatra. Jelen ismertetés ezekről a kísérletekről számol be, csupán nagy vonalakban érintve a kiértékelési eredményeket és az azokból levonható következtetéseket. A mérési eredmények feldolgozását, ill. kiértékelését Müller Miklós irányításával az UVATERV végezte el. A számítás néhány eredményének rendelkezésre bocsátásáért szerzők ezúton fejezik ki köszönetüket.

A modellkísérleteket szerzők két különböző súlyú szakaszban hajtották végre. Először optikai feszültségmérés segítségével mintegy előkészítették a kismintakísérleteket; az érdemi kísérletek jórészt ezután, a második fázisban következtek.

A modellkísérletek minden egyes fázisában szerzők a valójában inhomogén, anizotrop talajt rugalmas, homogén és izotrop anyaggal képezték le, amely utóbbi természetesen csak közelítőleg tükrözheti a talaj tényleges viselkedését. A leglényegesebb eltérés az, hogy a modellanyag — a tényleges

\* Acélszerkezetek Tanszék, Budapesti Műszaki Egyetem, Műegyetem rakpart 3. Budapest XI.



## 2. Optikai feszültségméréssel végrehajtott kísérletek

E kísérletek során az ikercsőves állomásszelvénnel áttört homogén rugalmas féltér viselkedését vizsgálták. Az alapvető szilárdságtani összefüggések közös érvényessége alapján bizonyítható, hogy a síkbeli alakváltozás állapotában levő talaj és szerkezet modellezhető a síkbeli feszültségi állapotban levő modellel. A vizsgálatok során az alagútszerkezet körüli talajfeszültségek eloszlásának kvalitatív meghatározására fektették a súlyt. Ennek érdekében az alábbi alapvető modellek feszültségállapotát vizsgálták:

a) a homogén rugalmas féltér helyett alkalmazott véges nagyságú tárcsa feszültségeloszlása a többi modellen nyert feszültségekkel való összehasonlítás érdekében;

b) a tervezett ikerszelvénynek megfelelő kivágású rugalmas féltér feszültségállapota, a teherhordó szerkezet beépítése nélkül;

c) a rugalmas féltér feszültségállapota az ikerszelvénynek megfelelő nagyságú, relatíve végtelen merev (tömör acél) kitöltés esetén;

d) a rugalmas féltér feszültségállapota a tényleges alagút-tartószerkezetnek megfelelő modell beépítése esetén. Ez utóbbi modellnek négy változatát vizsgálták:

- folytatólagos gyűrűszerkezet közbenső oszloppal, ill. anélkül,
- a tübingek illesztésének megfelelően kialakított csuklós gyűrűszerkezet közbenső oszloppal, ill. oszlop nélkül.

Az optikai feszültségméréssel végzett kísérletekhez a „talaj”-t optikailag igen jó aktivitással rendelkező ( $S = 18,92$  kp/cm. rendszám) Columbia Resin CR 39 típusú allyl-gyantából készítették. A felhasznált tábla rugalmassági jellemzői:

$$E = 24\,800 \text{ kp/cm}^2 \text{ és } \mu = 0,413$$

voltak.

A tartószerkezetet alumíniumból állították elő, figyelembe véve a tényleges szerkezet és a modellszerkezet eltérő rugalmassági tényezőjét. A gyűrűszerkezetet hajlítómerevség-helyesen, az oszlopot nyomó- és hajlítómerevség-helyesen képezték le.

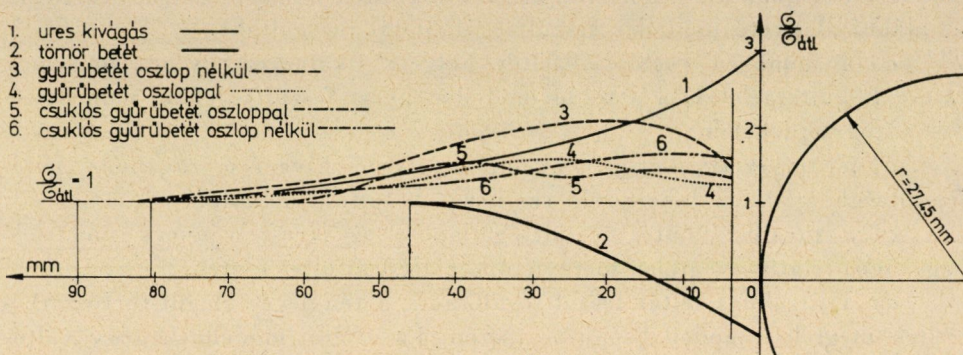
A modell léptéke az egyes változatoknál egymástól eltérő volt; ugyanazt a rugalmas féltér-táblát felhasználva, mindig a beépített szerkezetet változtatták; ez az újabb változatoknál a technológiai és optikai adottságok következtében a szerkezet-modell méretének állandó növelését tette szükségessé. A modell-lépték 1 : 120 és 1 : 100 között változott.

A modell vizsgálata a tanszék szórtfényű optikai feszültségmérő berendezésével történt. A rugalmas féltér felső peremére ható egyenletesen megoszló függőleges terhelést kis kéttámaszú átviteles tartókból álló terhelőrendszerrel és áttételes súlyteherrel hozták létre. A modellt az alsó szélén elhelyezett gumicsíkkal végig egyenletesen támasztották alá. A tiszta nyomásnak kitett műgyanta-lemez síkbeli oldalirányú alakváltozását nem korlátozták.



A kísérletek során szerzők elsősorban arra kívántak választ kapni, hogy a talajfeszültségek szempontjából az alagút okozta zavarás milyen távolságban enyészik el, másrészt pedig a talajban ébredő legnagyobb feszültségeket akarták meghatározni.

E kérdésekre az izoklinák, illetve az izoklinák alapján megszerkesztett főfeszültségi trajektóriák alapján kaptak választ. A gondosan megszerkesztett,



2. ábra.

egyenlő feszültségű pontokból (jelen esetben az egyenletesen terhelt felső kerület) függőleges irányban elindított főfeszültségi trajektóriák ugyanis jó tájékoztatást adnak a főfeszültségek nagyságának relatív mértékére. A függőleges irányú főfeszültségek eloszlása — az alagútszerkezet vízszintes felezővonalának megfelelő metszet mentén — a 2. ábrán látható, minden egyes feszültségábra mellett feltüntetve, hogy melyik kísérleti variációra vonatkozik. Az alagútszelvény közvetlen szomszédságában levő pont feszültségállapotának vizsgálata a szabad kerületű és a tömör acélbetéttel kitöltött kivágású modelleken az izokromata rendszámokkal, a tartószerkezettel merevített modelleken pedig a szerkezet mellé felragasztott 3 mm-es mérőbázisú nyúlásmérő ellenállásokkal történt.

Az optikai feszültségméréssel végrehajtott kísérletek alapján — amelyek jó kvalitatív összehasonlítási lehetőséget biztosítottak az egyes modell-változatok erőjátékára vonatkozóan, s amelyek bizonyos fokig előkísérleteket jelentettek a lényegesen nagyobb terjedelmű kisminta-kísérletekhez — szerzők megállapították, hogy a további kísérletek folyamán elegendő az alagút mellett kb. az alagút-átmérőnek megfelelő szélességű talajsáv leképezése.

### 3. Kismintán végzett kísérletek

Az optikai feszültségméréssel végzett kísérletek során elsősorban a talajban ébredő feszültségeket, ill. a főfeszültségi trajektóriákat vizsgálták. Ezek a kísérletek nem adtak azonban képet sem a tartószerkezet erőjátékára, sem



az alagútszerkezetben ébredő feszültségek nagyságára vonatkozóan. A kisminta-kísérletek elsőrendű feladata tehát a tartószerkezet erőjátékának vizsgálata volt.

A kisminta-kísérletek során

a) a különböző merevségű talajokban ébredő feszültségeket (a talaj merevségének hatását), valamint

b) a különböző merevségű talajokba ágyazott, egymástól szerkezetileg is eltérő tartószerkezetekben ébredő feszültségeket (az alagútszerkezet statikai rendszerének hatását) állapították meg.

A modellek léptékét a modell jó kialakíthatósága, valamint a megfelelő mérési és modellterhelési módszer biztosítása érdekében, továbbá lényegében a felhasználásra kerülő anyagok kereskedelmi mérete alapján 1:21,8-re vették fel.

### 3.1. A talaj modellezése és anyagjellemzőinek meghatározása

A kivitelezésre került talajmodellek alapterületét a különböző követelmények mérlegelése után 1 m × 1 m-ben állapították meg.

Tekintettel arra, hogy a vizsgálatok egyik fő célja annak kiderítése volt, hogy a különböző talajfajták esetében hogyan változik a tartószerkezet erőjátéka, szükséges volt a talajmodellek anyagjellemzőinek pontos ismerete. Már a megfelelő modell-anyagokat is csupán az anyagjellemzők birtokában lehetett a kipróbált anyagok közül kiválasztani; ezenkívül a mért nyúlásokból csak ezek segítségével számíthatók ki a feszültségek.

A vékony lemezekből összeragasztott különböző anyagú nyomópróbatestek rugalmassági tényezőjét Schopper-típusú 5 Mp-os szakítógépben Hottinger gyártmányú, D 32 típusú induktív nyúlásmérővel  $l = 40$  mm-es bázison végrehajtott mérések alapján határozták meg. Ez a műszer a két induktív adón kapott eredmény összegezése révén kiejti a külpontossági hibákat. A megfelelő anyagok kiválasztása után a ténylegesen felhasznált modell-anyagoknak azon darabjából készítették el a nyomópróbatesteket, amelyeket az alagútgyűrűk helyén vágtek ki a talajmodellekből.

Szerzők összesen négyfajta talajmodellt készítettek; ezek anyagjellemzőinek tájékoztató értékeit már a munka megkezdése előtt rögzítették. A leglágyabb modell gumiból készült; az 5 mm vastag gumilemezeket Araldit 106 és 953 U szilárdítóból készült ragasztóval, terhelés alatt, sablonban, kb. 50 mm vastag tömbbe (10 réteg) ragasztották össze. Ez a vastagság — a tervbe vett terhelés módját és nagyságát tekintetbe véve — már elég stabilnak mutatkozott. Az összeragasztott tömbön végzett mérések alapján a gumimodell anyagára

$$E_1 = 450 \text{ kp/cm}^2\text{-es rugalmassági tényezőt és}$$

$$\mu = 0,465\text{-es harántkontrakciós tényezőt kaptak.}$$

A harántkontrakciós tényező meghatározása során 0,001 mm-es érzékenyséű mozgatható mechanikus nyúlásmérőt (Pfender-típusú „Setzdehnungsmesser“-t) használtak  $l = 40$  mm-es bázissal.

A legkeményebb talajtípust keményített PVC-lemezekből készítették; ezt a modellt négy, egyenként átlagosan 11,5 mm vastag PVC réteg közé helyezett két réteg, kb. 2—2 mm vastag kemény gumilemezből állították elő: így itt is kb. 50 mm vastag tömböt kaptak. A lemezeket — a gumimodellhez hasonlóan — Araldit típusú ragasztóval és szilárdítóval kötötték egymáshoz. A PVC-talajmodellből kivágott első próbatesten (hasáb) nyúlásmérő ellenállásokkal (a tényleges modellre felragasztottakhoz hasonló, EMG 120—20 típusúakkal) hajtották végre a méréseket. Minthogy a mérések során jelentős kúszást tapasztaltak, a méréseket különböző időpontokban megismételték. Az anyagjellemzők azonban ilyen módon sem határozhatók meg egyértelműen.

A kezdetben erős kúszás a teher nagyságától függően  $t = 4$ —6 perc után már lényegesen csökken. Ezért mind a próbatesteken végrehajtott anyagjellemző-méréseket, mind a modellszerkezeten később végrehajtott tényleges méréseket úgy végezték el, hogy minden egyes terhelési lépcsőnél 6 perces várakozás után olvasták le a nyúlásértékeket. A kúszás miatt jelentkező erőcsökkenést természetesen minden esetben korrigálták.

A fent leírt mérések alapján a gyengítés nélküli PVC-talajmodell rugalmassági jellemzői a  $\sigma = 0$ —10 kp/cm<sup>2</sup>-es talajfeszültség-tartományban:

$$E_2 = 10700 \text{ kp/cm}^2, \text{ ill. } \mu \approx 0,470.$$

A közölt anyagjellemzők természetesen mind a gumi, mind pedig a PVC esetében átlagértékek.

Újabb talajtípusoknak megfelelő talajmodellek készítése rendkívül költséges lett volna, ezért a további talajmodelleket szerzők úgy alakították ki, hogy a „talaj“-t lyukasztással gyöngítve, annak fajlagos összenyomódását növelték.

A lyukakkal gyengített PVC-lemezek rugalmassági tényezőjét először a megfelelő lyukrendszerek kiválasztása érdekében kellett meghatározni. A megbízó kívánsága szerint a tömör PVC-modellnél kapott  $E \approx 10\,000$  kp/cm<sup>2</sup>-es rugalmassági tényezővel szemben az eredeti  $E$ -érték kb. 50, ill. 25%-át kellett elérni.

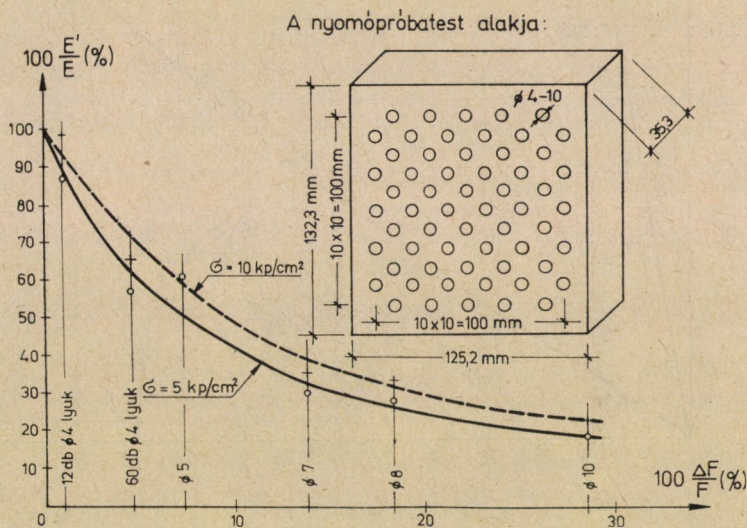
A talajmodell közepéből kivágott, egyre nagyobb lyukakkal ellátott második próbatestet (tárcsát) nyomógépen terhelve, az alakváltozásokat 4 db 0,01 mm érzékenyséű mérőórával mérték, s ez utóbbiak számtani középértékéből számították ki a  $\Delta l$  hosszváltozásokat. E mérések során is 6 perces időközök végén olvastak le. Miután a lyukasztott PVC-modellek anyagjellemzőinek vizsgálata során a Hooke-törvénytől való eltérés erősebben jelentkezett, ezért a rugalmassági tényezőt kétfajta feszültségértéknél ( $\sigma = 5$  és 10 kp/cm<sup>2</sup>) is megállapították. A mérési eredmények alapján felrajzolható görbéknek megfelelően (3. ábra) — amelyek a rugalmassági tényező csökkené-

sét különböző feszültségek mellett a keresztmetszetgyengítés mértékének függvényében adják meg — a tényleges talajmodelleket  $4/\sqrt{2}$  cm-es hálóban fúrt  $\varnothing 10$  mm-es lyukakkal ( $\Delta F/F = 0,0982$ ), ill.  $\sqrt{2}$  cm-es hálóba sűrített  $\varnothing 10$  mm-es lyukakkal ( $\Delta F/F = 0,3927$ ) alakították ki. Ily módon két további „talaj”-t kaptak, amelyeknek rugalmassági tényezői:

$$E_3 = 5400 \text{ kp/cm}^2, \text{ ill. } E_4 = 2300 \text{ kp/cm}^2$$

voltak.

A tapasztalat szerint a próbatesten mért rugalmassági tényező erősen függött a próbatest előzetes terhelésétől. Ezért a modell tényleges rugalmas-



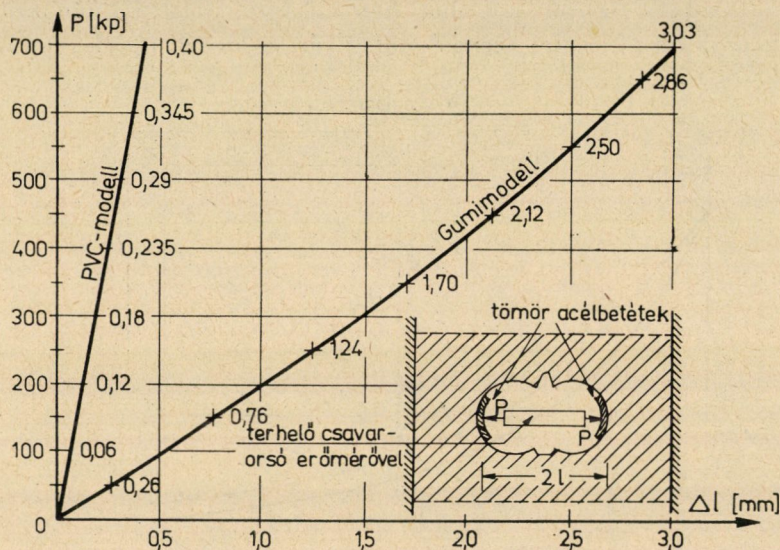
sági tényezőjét magán a talajmodellen mérték. Ezt a mérést is a már korábban említett nagyérzékenységű mechanikai nyúlásmérővel hajtották végre. Ehhez a lyukasztás nélküli talajmodellre 4 ponton  $l = 100$  mm bázisú mérőhelyet jelöltek ki. Az adott terhelési lépcsőkhöz tartozó hosszváltozásokat minden egyes modellen (gyengítés nélküli és gyengített modellek) megmérték. Mint-hogy a gyengítés nélküli modellre vonatkozólag mind a korábbi próbahasábon, mind a próbatárcsán végzett mérések alapján  $E = 10\,700 \text{ kp/cm}^2$ -es rugalmassági tényező adódott, ezt az értéket a nyúlásmérés hitelesítési alapjának fogadhatták el. A lyukasztás nélküli és a különböző mértékben lyukasztott modelleken mért nyúlások alapján ezután a lyukasztott modellek rugalmassági tényezői számíthatók voltak. A PVC harántkontrakciós tényezőjének újabb meghatározására nem volt szükség, hiszen a lyukasztás nélküli modellen kapott



$\mu \cong 0,470$ -es érték majdnem elérte az elméletileg lehetséges maximumot. A lyukasztott modellekre tehát a  $\mu = 0,5$ -es érték elfogadható volt.

A lyukasztott modelleken már a viszonylag alacsony igénybevételek esetében is jelentkezett kúszás; ennek hatását a kísérletek gyors, ütemszerű végrehajtásával és többszöri megismétlésével igyekeztek kiküszöbölni.

A modellkísérleti eredmények jobb feldolgozhatósága érdekében szerzők olyan méréseket is végeztek, amelyek eredményei alkalmasak az ágyazási



4. ábra.

együtthatók összehasonlítására is. Tekintettel azonban a vizsgált próbatest véges szélességű tárcsa-jellegére, a kapott értékek abszolút mértékként nem fogadhatók el. Az ágyazási együttható-mérést az alagútgyűrűk beragasztása előtt, az alagútszelvénynek megfelelően kivágott talajmodellen végezték el. A vizsgálathoz a talajmodellt a terhelőkeretbe helyezték és oldalfületein megtámasztották. Ezután az ikerszelvény két oldalfalánál kb. 30 mm vastag, teljes talajmodell-szélességű (50 mm), negyedkörív-alakú tömör acél nyomótestet helyeztek el, amelyet egy dinamométerrel összeépített terhelő orsó segítségével több lépésben terheltek. A terhelési lépcsőknek megfelelően 0,02 mm-es nóniuszú tolmérővel mérték a nyomótestek egymástól való eltávolodását, tehát az ágyazat benyomódását. A dinamométert nyomógépben hitelesítették. A mérés elvi módszerét és eredményeit a gumi- és a lyukasztás nélküli PVC-lemezre a 4. ábra szemlélteti.

### 3.2. *A tartószerkezet modellezése*

A tényleges szerkezetet alkotó tübingek öntöttvasból készülnek, amelynek rugalmassági tényezője az adatszolgáltatás szerint:  $E = 10^6$  kp/cm<sup>2</sup>. A modellnél ugyanezt az anyagot — a kiadódó rendkívül kis méretek és a várható anyaghibák miatt — nem lehetett alkalmazni. Alumínium alkalmazására a kis falvastagság miatt megmunkálási okokból szintén nem kerülhetett sor, ezért a tübingekből álló gyűrűszerkezetet a rendelkezésre álló 260 mm átmérőjű öntöttacél csőből esztergályozták ki, amely anyagának rugalmassági tényezője  $E = 2,1 \cdot 10^6$  kp/cm<sup>2</sup> volt. A tübingek leképzésekor a keresztbordákat nem vették figyelembe; ennek megfelelően a modell-tartószerkezetet 2 db hárombordás gyűrűként alakították ki.

Ez utóbbiakon az eltérő  $E$ -érték miatt nem lehetett lineáris modellezést alkalmazni. Egyidejűleg felület és inercia szempontjából is helyes leképezés pedig azért nem volt megvalósítható, mert a modell-gyűrűszerkezet méreteinek megállapítása során kötöttséget jelentett az, hogy a tübinggyűrű minimális vastagságát megmunkálási okokból  $\sim 1$  mm-nél kisebbre nem vehették fel és hogy a gyűrűben kialakított középső bordára a nyúlások (ill. feszültségek) megállapítása végett nyúlásmérő ellenállásokat kívántak felragasztani. Ez utóbbi igény miatt a középső bordát viszonylag szélesre (2,5 mm) kellett kialakítani. Minthogy a talaj viselkedése szempontjából az alakváltozások helyessége volt a kívánatos, szerzők az

$$\frac{E_{sz} J_{sz}}{E_m J_m} = \lambda^4 = 21,8^4 = 2,2585 \cdot 10^5$$

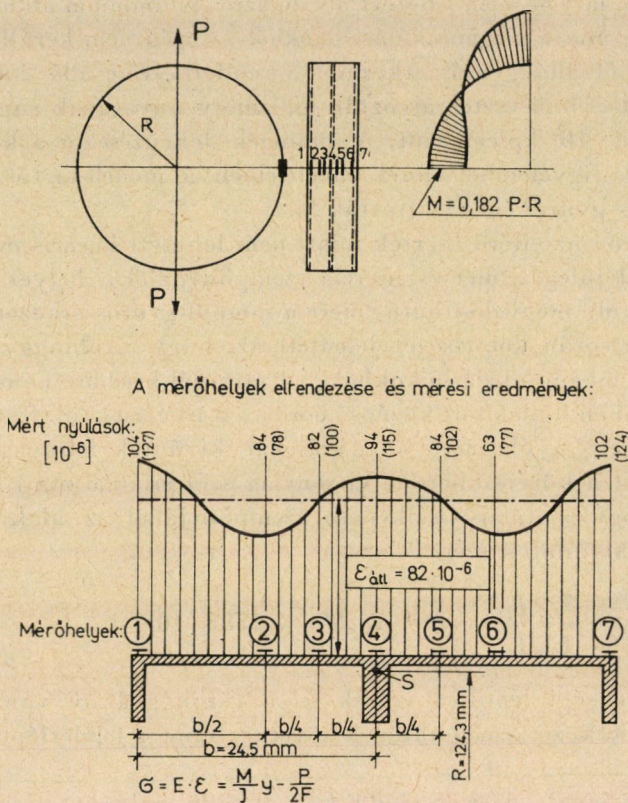
pontos hajlítómerevségi léptéket vették fel a tübinggyűrűre vonatkozóan. A derékerőkből keletkező kisebb hatások következtében a felületlépték hibája elhanyagolható.

A fentieknek megfelelően kiadódó  $J_m = 0,0296$  cm<sup>4</sup> tehetetlenségi nyomatékú tartószerkezet tényleges merevségét a kész gyűrűn nyúlásmérő ellenállások, illetve Huggenberger gyártmányú „Deformeter” elnevezésű, 10” mérőbázisú mozgatható mérőműszer segítségével végrehajtott feszültség-, illetve alakváltozásméréssel ellenőrizték. Az ellenőrző mérésekből, melyek során a gyűrűket felfüggesztett állapotban koncentrált súlyteherrel terhelték, határozottan kitűnt, hogy az alakváltozásmérés a merevségi értékekre pontosabb és megbízhatóbb eredményt ad, mint a feszültségmérés. Emellett a nyúlásméréskor azt is tapasztalták, hogy a feszültségeloszlás a vékonyfalú gyűrű metszete mentén nem egyenletes (5. ábra). Emiatt a beépítendő gyűrűkre viszonylag nagyszámú nyúlásmérő ellenállást (egy-egy vizsgált keresztmetszetben 2—8 db-ot) ragasztottak fel.

A fej- és talpgerenda rendkívül nagy merevsége miatt szerzők ezeknek csupán alakhelyes leképzésére törekedtek és eltekintettek a vasbeton szer-



kezeti anyag és az alkalmazott öntöttvas modellanyag különböző rugalmassági tényezői miatt kiadódó hatásoktól. Az oszlop modellezésekor a kibetonozott acélső helyett epoxigyantával kiöntött alumíniumcsövet használtak. Ennél a leképezésnél természetesen azt is figyelembe kellett venni, hogy az 5 cm



5. ábra.

vastag modell a valóságban 1,09 m hosszúságú szerkezetet képvisel, a tényleges szerkezetben pedig 4,0 m-re vannak egymástól az oszlopok. Minthogy az oszlopok összenyomódása a derékerőből származik, azok leképezését EF-helyesen oldották meg. Egyidejűleg az oszlop EI hajlítómerevségét megnövelték. Ezáltal a karcsúság, s így a kihajlás elleni biztonság is nagyobb lett; ez utóbbi a már előre tervbe vett túlterhelés miatt kívánatos is volt.

A különböző típusú modelltalajokkal végzett kísérletsorozatok keretében a szerkezetben is végrehajtottak módosításokat: a kísérletek egyes fázisaiban az ikerszelvény közbenső oszlopát csuklósan, ill. befogottan, a tübinggyűrűt pedig folytatólagos, ill. csuklós elrendezéssel alakították ki.

### 3.3 Modellterhelő berendezés

A terhelőberendezést szerzők a következő szempontoknak megfelelően alakították ki:

- a modell csak fekvő állapotban terhelhető;
- a fekvő modellen fellépő nagy súrlódás kiküszöbölésére a modell alajozott üveglapra fektetendő;
- a talajmodell terhelésekor a terhelőerő fokozatos növelése kb. 10 kp/cm<sup>2</sup>-es talajfeszültségig biztosítandó, úgy, hogy az a fél modellszélességben eltérő is lehessen (szimmetrikus, ill. aszimmetrikus terhelés);
- a végtelen féltér előállítása érdekében a „talaj”-t oldalirányban meg kell támasztani, egyúttal azonban nem szabad megakadályozni a terhelőerő irányú elmozdulást (összenyomódást).

A fenti kívánalmaknak megfelelően összeállított terhelőkeret a 6. ábrán látható. A talajmodell terhelése az U 200-as idomacélokból összehegesztett merev keret két véggerendáján megtámasztott 4 db laposmenetű csavarorsó segítségével történt. Egy-egy csavarorsó végpontja gömbcsuklóval kapcsolódott a terhelőrendszer első tagjához, amely kéttámaszú tartókból összeállított teherelosztó rendszer segítségével lehetővé tette a fél szélességű talajmodellre jutó teher egyenletes szétosztását. A talajmodell oldalirányú megtámasztását szintén csavarokkal szabályozható, görgős alátétekre fektetett elemekkel biztosították. A terhelő és a megtámasztó elemek hosszát úgy választották meg, hogy közöttük minimálisan 2—2 mm távolság maradjon, ami a talajmodell alakváltozását a peremeken is megengedi. Az üveglapon és az oldalmegtámasztásokon fellépő súrlódóerő meghatározására végzett kísérleteik alapján szerzők megállapították, hogy abban az esetben, ha csak az egyik keretgerendán működik a terhelőerő, akkor ez az erő a súrlódás miatt a szemközti orsókig maximálisan 5%-kal csökken. Az egymással szemben levő orsók egyidejű egyenletes terhelése a súrlódási veszteségeket minimálisra csökkentette.

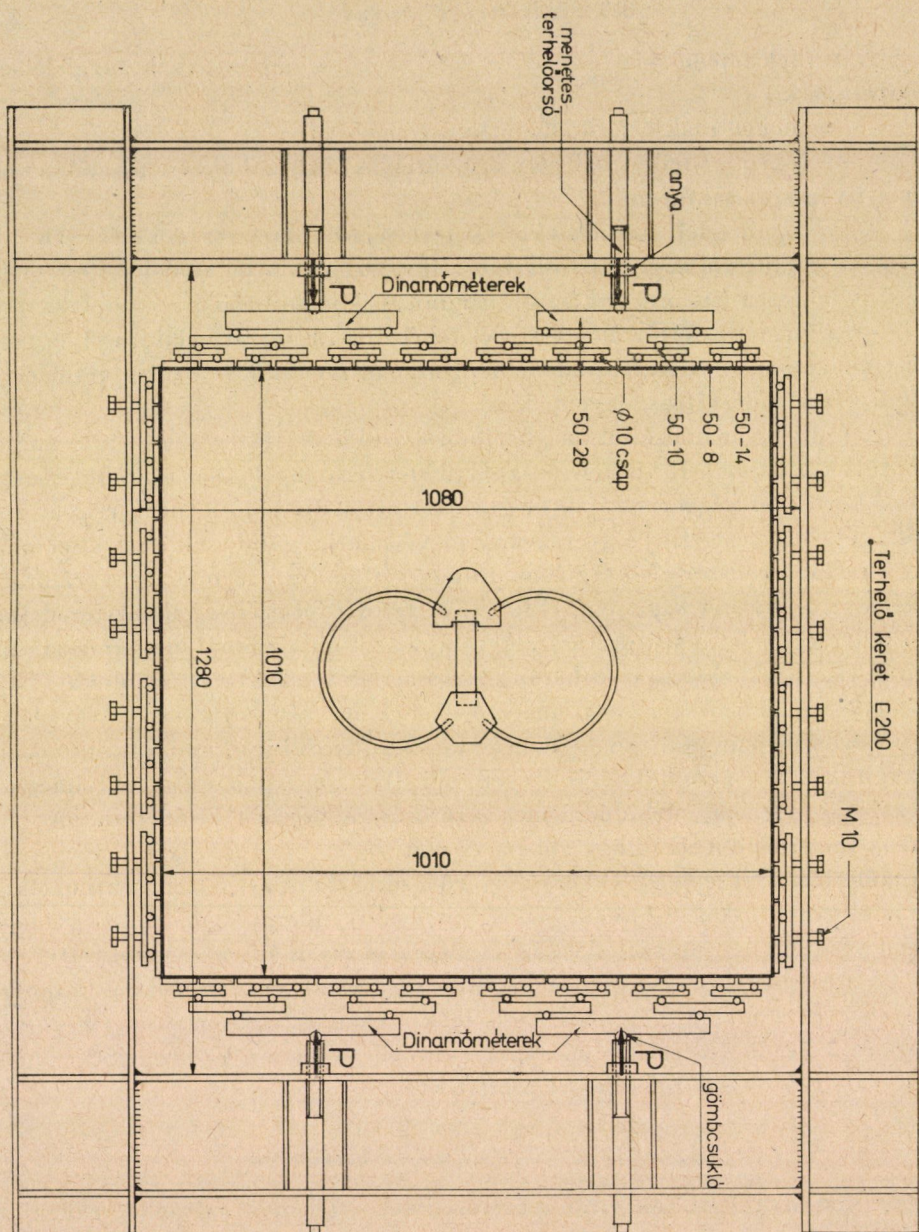
A terhelőerők nagyságának beállítása a terhelő csavarorsókhoz kapcsolódó első kéttámaszú gerendák terheletlen oldalára felragasztott 2—2 db hossz- és 2—2 db keresztirányú nyúlásmérő ellenállás segítségével (teljes hídkapcsolás), előzetes hitelesítés alapján történt.

### 3.4. Mérőműszerek és mérési módszerek

A kismintakísérletek során a tartószerkezet alakváltozásának, valamint a talajban és a szerkezetben ébredő feszültségeknek megállapítása volt a feladat.

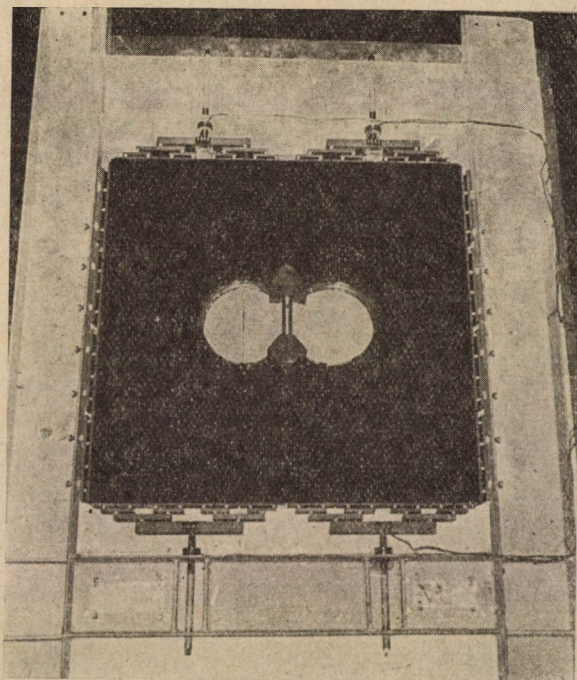
A szerkezet alakváltozásának mérésekor 0,02 mm-es nóniuszeosztású ellenőrző tolómérőt használtak, úgy, hogy a vizsgált távolságok végpontjain — az alagútszelvény közvetlen környezetében, illetve a tartógyűrűn — egy-egy köralaprájú pontjelölést ragasztottak fel és ezek külső érintőpontjainak távol-



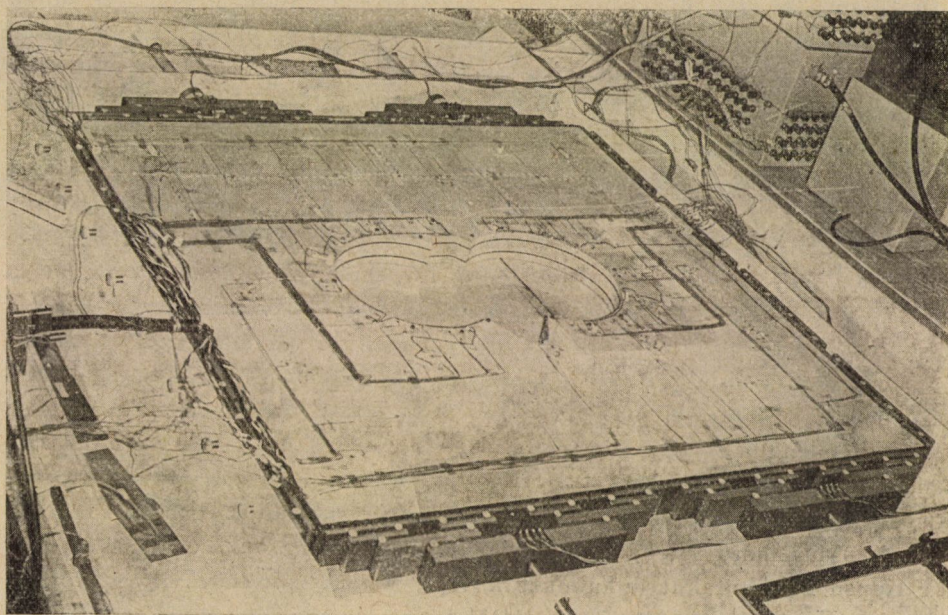


6. ábra.





7. ábra.



8. ábra.

ságát, illetve távolságváltozását mérték. E mérések során figyelemmel kísérték a két gyűrű függőleges átmérőjének, az ikerszelvény vízszintes összméretének és szimmetriatengelyének hosszváltozását, illetve — a legtöbb esetben — a tartógyűrű alakváltozását a függőlegetől kb. 30°-kal eltérő átlókban is.

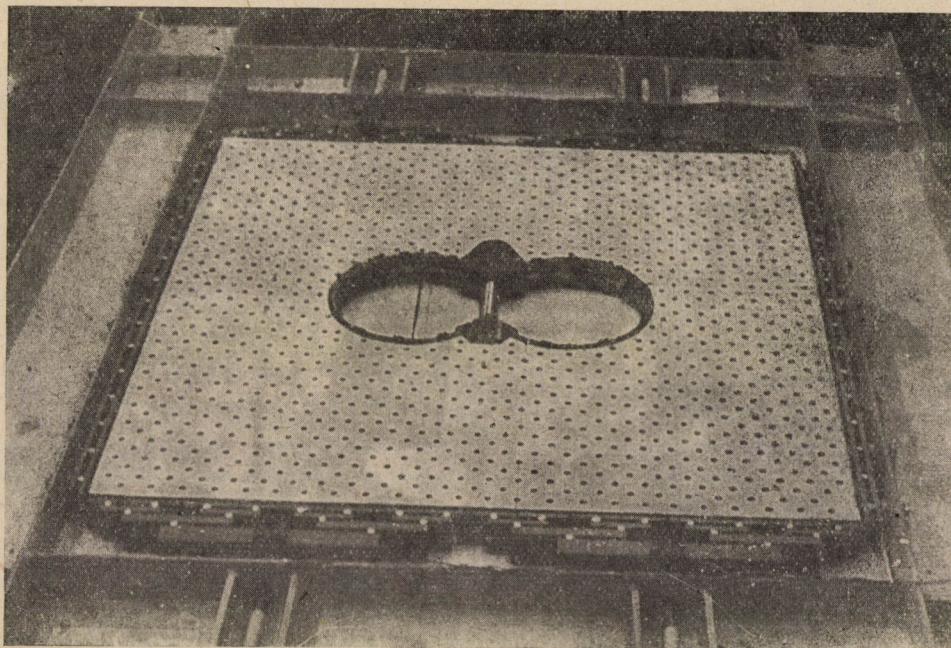
A talajban fellépő nyúlásokat a különböző talajmodelleken eltérő módszerekkel mérték meg; ezután a rugalmassági tényezők ismeretében kiszámíthatók a feszültségek. A gumimodelleken ( $E \cong 450 \text{ kp/cm}^2$ ) a  $\sigma = 10 \text{ kp/cm}^2$ -es feszültség szinten várható  $\varepsilon \cong 2,5\%$ -os talajnyúlás megmérése kis mérőbázis esetében — tekintettel a vizsgált pontok igen nagy számára, és arra, hogy ezekben a pontokban a síkbeli feszültségi állapot meghatározásához 3—3 adat szükséges — csupán az említett mozgatható nyúlásmérővel volt megoldható. 20 mm-es mérőbázis mellett a műszer  $\pm 0,5 \text{ mm}$ -es méréstartománya elegendőnek bizonyult. Ez a nyúlásmérő lehetővé tette a feszültségeknek sok ponton és több irányban való meghatározását is. A gumimodelleken összesen 69 pontban végeztek mérést, úgy, hogy minden egyes pontban egy 20 mm élhosszúságú szabályos háromszög  $1/16''$ -os golyókkal kijelölt csúcsainak távolságát mérték. A mérőhelyek elrendezése a 7. ábrán jól látható.

A PVC-ből készült talajmodellek közül szerzők csak a lyukasztás nélküli, gyöngítetlen modellen végeztek nyúlásmérést. Az  $E \cong 10\,000 \text{ kp/cm}^2$  mellett  $\sigma = 10 \text{ kp/cm}^2$  feszültség szinten kiadódó  $\varepsilon \cong 1\%$ -nyi viszonylagos nyúlás nyúlásmérő ellenállással jól mérhető; mechanikus nyúlásmérővel viszont ilyen kis alakváltozások mérése még aránylag nagy bázis alkalmazása esetén sem oldható meg megfelelő pontossággal. Ezért erre a talajmodellre a 8. ábrán látható módon EMG gyártmányú 120  $\Omega$ -os nyúlásmérő ellenállásokat ragasztottak fel. A lyukasztott modelleken csupán a rugalmassági tényező ellenőrzésére végeztek nyúlásmérést néhány pontban Pfender típusú műszerrel,  $l = 100 \text{ mm}$ -es bázissal.

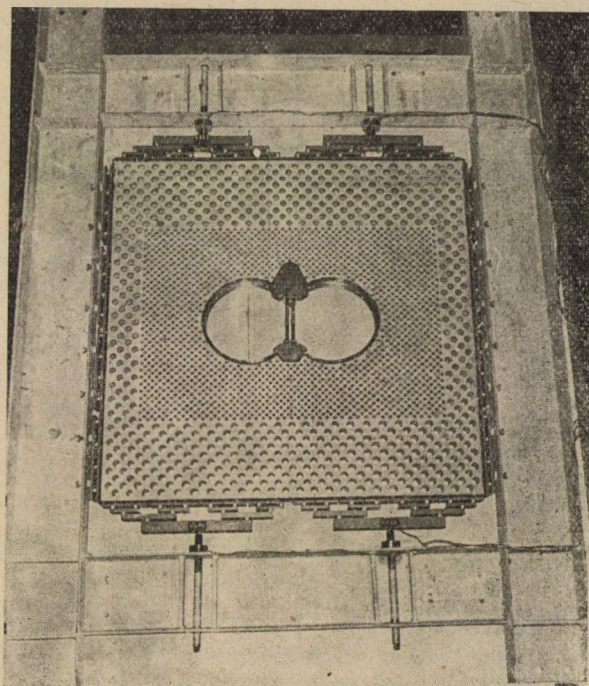
A tartógyűrű erőjátékának vizsgálata érdekében az esztergályozással kialakított bordás gyűrű külső és belső felületére — a talajmodellbe való be-  
ragasztás előtt — nyúlásmérő ellenállásokat ragasztottak fel. A gumiból készült modellen (7. ábra) a gyűrű külső és belső felületén, valamint a befogottan kialakított oszlopokon összesen 55 db 10 mm bázisú EMG ellenállást, a középső borda belső felületén pedig 20 db Huggenberger gyártmányú BP 120—20 ( $l = 20 \text{ mm}$ ) típusú ellenállást helyeztek el. A PVC modelleken összesen 38 db mérőellenállást alkalmaztak (9. és 10. ábra). Itt a gyűrűfelületre valamivel kevesebb ellenállást ragasztottak, ugyanis az egyes tübingkeresztmetszetek mentén jelentkező feszültségváltozásokat ekkor nem mérték, az oszlopra azonban, tekintettel a csuklós és befogott változatra, több mérőelem került.

A nyúlásmérő ellenállásokkal végrehajtott mérésekhez Huggenberger IT1 típusú mérőhidakat alkalmaztak K 24 típusú mérőhelykiegénylőkkel, valamint Hottinger gyártmányú DDM 4 típusú digitális nyúlásmérőt S 24 típusú mérőhelyátkapcsolóval.





9. ábra.



10. ábra.

### 3.5. A modellek készítése

A talajmodell és a tartószerkezetet képviselő tartógyűrű készítésének kérdése már korábban említésre került. Az öntöttacélból esztergályozott tartógyűrűk merevségének megállapítása után a nyúlásmérő ellenállásokat a még zárt gyűrűkre ragasztották fel, ezután a fej- és talpgerenda befogási helyén megerősített gyűrűket szétvágták, majd az öntöttvasból készült fej- és talpgerendákba Araldit 106-tal beragasztották.

A gumimodellen a befogottan kialakított oszlopot a fej- és talpgerendába besüllyesztve ragasztották be. A PVC-modellen a csuklós, ill. befogott csatlakozást úgy modellezték, hogy az oszlopnak két végén csuklós megtámasztást adtak, illetve a csuklóknál elhelyezett megtámasztólappal és megfelelő betétlapokkal az oszlopot lapokra támaszkodóvá alakították át.

Az összeállított tartószerkezetet a gumival közel azonos rugalmasságú, fenyőolajjal lágyított epoxigyantával ragasztották be mind a gumi-, mind a PVC-„talaj”-ba.

A kész gumimodellt a 7., a lyukasztás nélküli PVC-modelt a 8., a lyukasztott PVC-modelleket pedig a 9. és 10. ábra mutatja.

A 9. ábrán látható, kb. 10%-os felületgyengítésű PVC talajmodell teljes felületén egyenletes kiosztásban készítettek furatokat marógéppel, ill. oszlopos fúrógéppel. A nagymértékben gyengített modell (l. a 10. ábrát, kb. 39%-os gyengítés) kifúrása során az alagútszerkezet környékén a  $\varnothing$  10 mm-es lyukakat sűrítették be ( $\sqrt{2}$  cm-es háló), a széleken pedig a lyukátmérőt növelték meg 20 mm-re, a lyukkiosztás megtartása mellett ( $4/\sqrt{2}$  cm-es háló). A modell szélein és közepén a fajlagos gyengítés mértéke azonos, a megelőző variánshoz képest pontosan négyszeres.

### 3.6. Kísérleti program a különböző modelleken

**I. Gumimodell:** gumi-talaj beépített alagút-tartószerkezet nélkül. Ennek a kísérletnek a célja elsősorban az volt, hogy összehasonlítási alapot teremtsen a megfelelő optikai feszültségmérési, valamint a később, a tartószerkezettel merevített talajmodellel végrehajtott kísérletek között.

**II. Gumimodell:** a fenti modell beragasztott tartószerkezettel. Ezen a változaton a bordás alagút-tartógyűrű még folytatódólagos volt, a talp- és a fejgerendába be volt fogva, és így teljes körív-hossza mentén, összes keresztmetszetében alkalmas volt derékerők és nyomatók felvételére is.

**III. Gumimodell:** az előzőhöz hasonló körülmények között végrehajtott modellkísérlet azzal a különbséggel, hogy a gyűrű és a fej-, ill. talpgerenda kapcsolatánál a bordák átvágásával a tübinggyűrűt gyakorlatilag csuklósan csatlakoztatták a gerendákhoz. Ha a szerkezeten ugyanis valamelyik kereszt-

metszet plasztikus állapotba jut, a megfolyt keresztmetszet a továbbiakban csuklóként viselkedik. Tekintettel arra, hogy a befogások környezetében nyomatéki maximumok alakulnak ki, s ugyanott a szerkezetben a vasbetongerendák és az öntöttvas tübingek csatlakozásánál a csukló kialakulása egyébként is valószínű, az első csuklókat ezen a négy (gyűrűnként két-két) helyen modellezték.

*IV. Gumimodell:* szerzők ezzel a modellel az egyes öntöttvas tübingelemek között kialakulható csuklós kapcsolatot kívánták modellezni. Ennek érdekében az alagút tartószerkezet bordáit az összes tübingcsatlakozásnál átvágták.

A három utóbbi kísérlet során befogott oszlopot alakítottak ki. A gumimodellekkel végrehajtott kísérletek folyamán fokozatosan növelt szimmetrikus, ill. aszimmetrikus külső terhelést alkalmaztak. A szimmetrikus teher maximális értékén ( $P = 2 \times 2500$  kp;  $\sigma_{\text{talaj}} = 10$  kp/cm<sup>2</sup>) sem lépett fel a szerkezetben káros deformáció.

*I. PVC-modell:* az I. gumimodell megfelelője; az alagútszelvény méreteinek megfelelő kivágású talajmodell, a tartószerkezet beépítése nélkül. A talajfeszültségek megállapításához szükséges nyúlásokat itt nyúlásmérő ellenállásokkal határozták meg.

*II. PVC-modell:* a II. gumimodell párhuzamos megfelelője. Az alagútszelvénytel gyengített talajszelvénybe beragasztották a csuklós megtámasztású oszloppal merevített tartószerkezetet.

*III. PVC-modell:* a II. PVC-höz hasonló kísérlet, „befogott” oszloppal. Az oszloplapokra való támaszkodást a csuklók kiiktatásával, a fej-, ill. talpgerenda és az oszlopfaj, ill. oszloptalp közé befeszített négy kis betétlappal biztosították.

*IV. PVC-modell:* kisebb mértékben gyengített ( $E \simeq 5400$  kp/cm<sup>2</sup>) modell, két végén csuklós megtámasztású oszloppal. A megfelelő rugalmassági tényező elérése érdekében a kész PVC-talajmodellt  $4/\sqrt{2}$  cm-es hálóban fűrt  $\varnothing 10$  mm-es lyukakkal gyengítették; ezzel az azonos erőre jelentkező alakváltozásokat megnövelték. Az így kapott talajmodellen a helyi alakváltozások természetesen már nem voltak mérhetőek.

*V. PVC-modell:* kisebb mértékben gyengített modell. Az előzőhöz hasonló kísérlet befogott (lapokra támaszkodó) oszloppal.

*VI. PVC-modell:* erősen gyengített ( $E \simeq 2300$  kp/cm<sup>2</sup>) modell, csuklós oszlopmegtámasztásokkal. A VI. PVC és VII. PVC jelű modellek számára a talaj rugalmassági tényezőjét  $\sqrt{2}$  cm-es hálóban fűrt  $\varnothing 10$  mm-es lyukrendszerrel csökkentették tovább. Ezen kísérlet során, melyet időrendben utolsóként hajtottak végre, a terhelő erőt  $2 \times 2900$  kp-ig növelték anélkül, hogy a tartószerkezet tönkrement volna.

*VII. PVC-modell:* az előzőhöz hasonló kísérlet befogott (lapokra támaszkodó) oszloppal.



A II., IV., V. és VII. jelű PVC modellek néhány jellegzetes pontjában szerzők  $l = 100$  mm-es mérőbázison mechanikus nyúlásmérést is végeztek — mint az már korábban is említésre került — elsősorban a rugalmassági tényezők értékének pontosabb meghatározása végett. Minthogy a PVC-modelleken az oszlop csuklós és befogott (lapokra támaszkodó) kialakítása bizonyos deformációkhoz volt kötve, a PVC II—VII. kísérletek során a terhelések legnagyobb részében  $2 \times 100$  kp-os előterhet alkalmaztak.

A kísérletek néhány főbb jellemzőjét az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat

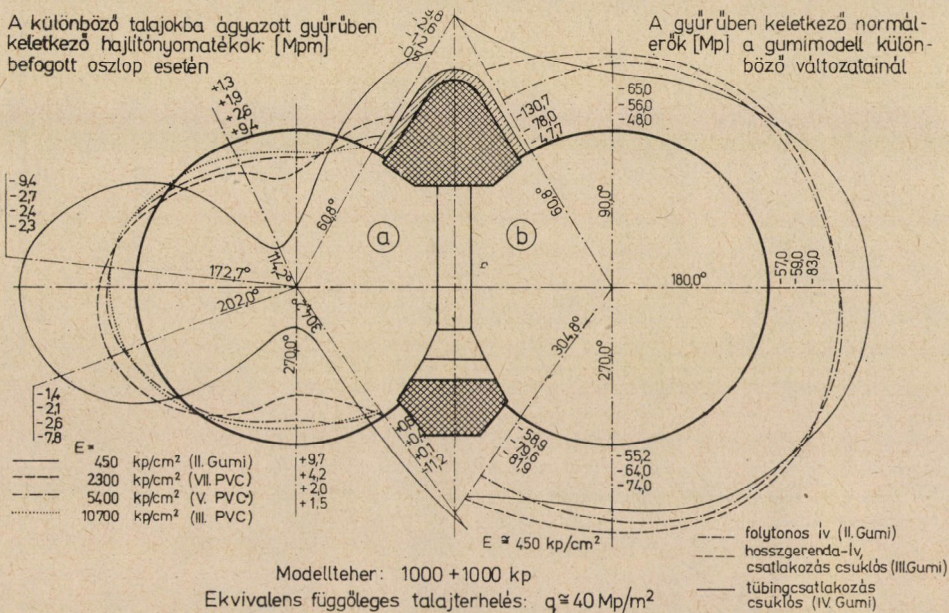
| Modell jele  |      | Rug. tény.<br>E<br>kp/cm <sup>2</sup> | Alagút tartószerk.<br>kialakítása | Oszlop   | Teher  |         | Nyúlásmérés<br>helye |             |             | Alak-<br>változás-<br>mérés<br>helye |
|--------------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------|---------|----------------------|-------------|-------------|--------------------------------------|
|              |      |                                       |                                   |          | szimm. | aszimm. | talaj                | gyű-<br>rűk | osz-<br>lop |                                      |
| Gumimodellek | I.   | 450                                   | nincs beépítve                    | nincs    | +      | —       | +                    | —           | —           | talaj                                |
|              | II.  |                                       | folytonos gyűrűk                  | befogott | +      | +       | +                    | +           | +           | gyűrűk                               |
|              | III. |                                       | csuklók a befo-<br>gásoknál       |          | +      | +       | +                    | +           | +           |                                      |
|              | IV.  |                                       | csuklós gyűrűk                    |          | +      | +       | +                    | +           | +           |                                      |
| PVC modellek | I.   | 10700                                 | nincs beépítve                    | nincs    | +      | —       | +                    | —           | —           | talaj                                |
|              | II.  |                                       | folytonos gyűrűk                  | csuklós  | +      | +       | +                    | +           | +           | gyűrűk                               |
|              | III. |                                       |                                   | befogott | +      | +       | +                    | +           | +           |                                      |
|              | IV.  | 5400                                  |                                   | csuklós  | +      | +       | —                    | +           | +           |                                      |
|              | V.   |                                       |                                   | befogott | +      | +       | —                    | +           | +           |                                      |
|              | VI.  | 2300                                  |                                   | csuklós  | +      | +       | —                    | +           | +           |                                      |
|              | VII. |                                       |                                   | befogott | +      | +       | —                    | +           | +           |                                      |

#### 4. Modellkísérleti eredmények

A modellkísérleti eredmények feldolgozásából szerzők csupán néhány részletet kívánnak bemutatni. A 11—12. ábrákon feltüntetett igénybevételek a mérési eredmények átszámítása alapján a tényleges szerkezetre vonatkoznak.

A 11/a. ábrán a különböző talajokba ágyazott gyűrűszerkezetben ébredő hajlítónyomatékok összehasonlítása látható olyankor, amidőn a gyűrű az oszlopba mereven be van fogva.





11. ábra.

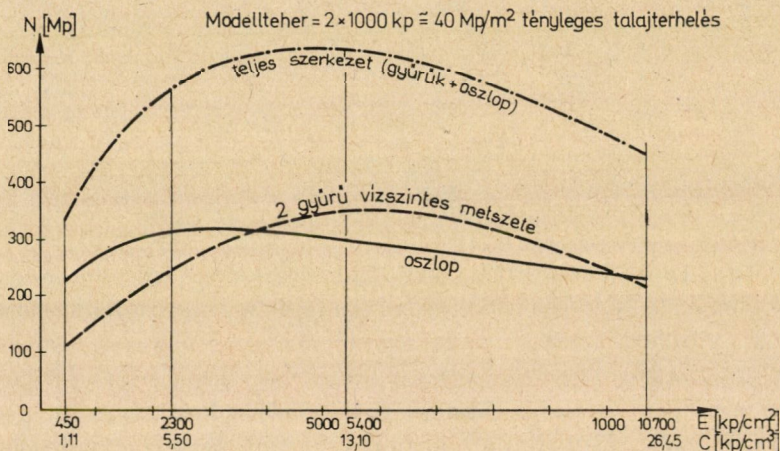
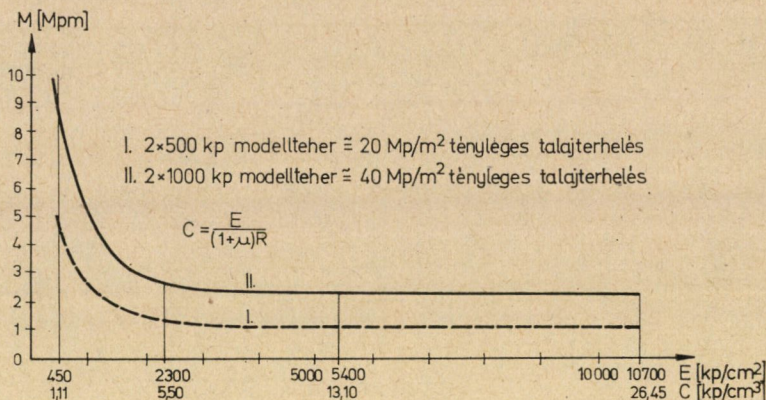
A 11/b. ábrán bemutatásra kerül, hogy a különböző gumimodell-változatokon (befogott ív, csuklósan csatlakozó ív és csuklós rúdlánc) hogyan alakulnak a gyűrűben ébredő derékerők.

A 12/a. ábrán a gyűrű nyomatékainak összehasonlítása látható a vízszintes metszetben, a talaj rugalmassági tényezőjének és ágyazási együtthatójának függvényében. Az ábrából megállapítható, hogy a nagyobb szilárdságú, kötöttebb talajokban a nyomaték közel exponenciálisan csökken. Ez az eredmény az elméleti megfontolásokkal összhangban van.

A 12/b. ábrán szerzők a különböző talajmodelleken kapott, a gyűrűben és az oszlopban ébredő derékerők változását közlik a talaj rugalmassági tényezőjének és ágyazási együtthatójának függvényében. A kísérletek tanúsága szerint a derékerőnek közbenső szélső értéke van, amely természetesen a szerkezet és a talaj viszonylagos merevségének függvénye.

**Model Test on a Station of New Design for the Budapest Subway.** The Department of Steel Structures at the Technical University in Budapest in 1967 conducted extensive experiments for clearing up some theoretical and constructional problems in connection with a new design of station on the Budapest Subway. During the experiments the stresses which arose in the soil and tunnel structure have been determined for several types of soil and tunnel structures. For the investigations a number of methods of the experimental stress analysis have been applied in conformity with the nature and magnitude of the values to be measured. On the basis of the results of measurements the stresses reduced to the actual size of structures and their relation to the soil characteristics of major significance are outlined.





12. ábra. a, b

**Modellversuche über eine neue Stationsanlage der Budapester Untergrundbahn.** Am Lehrstuhl der Stahlkonstruktionen der Budapester Technischen Universität wurden weitreichende Versuche angestellt zur Klärung einiger theoretischer und Ausführungsprobleme im Zusammenhang mit einer neuen Bahnstation der Untergrundbahn in Budapest. Die Untersuchungen der im Boden und in der Tunnelkonstruktion hervorgerufenen Spannungen und Beanspruchungen wurden auf mehrere Boden- und Bauarten erstreckt. Bei der Untersuchung wurden zahlreiche Methoden der Spannungsanalyse durch Versuche, dem Charakter und der Größe der zu messenden Werte entsprechend, angewendet. Aufgrund der Meßwerte werden die auf die natürliche Größe der Konstruktion umgerechneten Beanspruchungen bzw. deren Beziehung zu einigen wichtigeren Bodenkennwerten schematisch vorgeführt.

# TUDOMÁNYOS HELYZETKÉP A BELSŐÉGÉSŰ MOTOROKKAL KAPCSOLATOS KUTATÁSOKRÓL\*

AZ ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI GÉPEK  
AKADÉMIAI BIZOTTSÁG MEGBÍZÁSÁBÓL

BRODSZKY DEZSŐ<sup>1</sup>

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

KOVÁCSHÁZY ERNŐ<sup>2</sup> és WINKLER DEZSŐ<sup>3</sup>

[Beérkezett 1969. november 20-án]

A cikk a belsőégésű motorok főbb hazai alkalmazási területeinek, valamint a kutatás és fejlesztés általános feladatainak áttekintése után összefoglalja a Diesel-motorok fejlesztésével kapcsolatos konkrét tennivalókat. Először a hazai kutatás jelenlegi helyzetét és e tevékenység eredményeit ismerteti. Ezt követően összehasonlító áttekintést ad a közúti gépjármű Diesel-motorok, valamint a vasúti Diesel-motorok kutatása területén idehaza és külföldön fennálló helyzetről. Befejezésül a cikk ismerteti a hajó Diesel-motorok, a mezőgazdasági Diesel-motorok és a motorkerékpár-motorok területén folyó munkálatokat.

## I. Bevezetés

A belsőégésű motorokat a legkülönbözőbb felhasználási területen alkalmazzák. Az alkalmazási terület döntően megszabja a felhasznált motorral szemben támasztott követelményeket, amelyek elsősorban a teljesítményre, súlyra, fajlagos motortérfogatra, teljesítménysúlyra, gazdaságosságra, élettartamra és üzembiztonságra vonatkoznak, de sok esetben a nyomatéki karakterisztika, a rázás és a motor viselkedése instacionárius üzemben (lassulásnál, gyorsulásnál, reverzálásnál stb.) szintén lényeges követelmény lehet.

A belsőégésű motorok főbb felhasználási területei hazánkban a következők:

Vasúti járművek;  
folyami és tengeri hajók;  
tehergépjárművek, autóbuszok;  
mezőgazdasági erőgépek;  
motorkerékpárok.

\* A tudományos helyzetképet megvitatta az *Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Akadémiai Bizottság* 1968. december 16-i ülésén. Opponensek voltak: JUREK AURÉL, a műszaki tudományok kandidátusa és SITKEI GYÖRGY, a műszaki tudományok doktora. A közlemény az opponensi vélemények és a bizottsági ülésen elhangzott vita figyelembevételével készült.

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki Egyetem Kalorikus Gépek Tanszéke, Budapest.

<sup>2</sup> Ganz-MÁVAG Mozdony, Vagon- és Gépgyár, Budapest.

<sup>3</sup> Járműfejlesztési Intézet, Budapest.

Az első négy felhasználási terület szinte kizárólag Diesel-motorokat igényel, az ötödik viszont kisteljesítményű, könnyű benzinmotorokat.

A Diesel-motorokat legnagyobb számban a közúti járműipar használja fel, ezért a fejlesztés irányvonalát is elsősorban a járműüzem igényei szabják meg. A járműipar nagy mennyiségi igényének a következménye, hogy sok esetben az egyéb célra használt motorok is a járműmotorok változatai. Ez a gyártás szempontjából gazdaságos és a felhasználó igényeit is általában kielégíti, de nem minden szempontból.

A közlekedés gazdaságossága — az úttest, ill. a vasúti pálya kihasználása érdekében — a teherbírás növelését és a szállítási sebesség fokozását követeli meg. Ehhez a teljesítmény állandó növelésére van szükség. Hasonló tendencia — a teljesítmény állandó növelése — figyelhető meg a mezőgazdasági erőgépeknél és a motorkerékpároknál is. Bár a járműmotorok belátható ideig megtartják vezető szerepüket, egyes feladatok jobban oldhatók meg gázturbinával.

## II. A kutatás és fejlesztés általános feladatai

A Diesel-motorok továbbfejlesztéséhez rendkívül széles körű és mélyreható kutatásokra van szükség, amelyek mind alap, mind alkalmazott, mind pedig fejlesztési kutatásokat foglalnak magukba. Az alap és az alkalmazott kutatások legtöbbször csak különleges kísérleti motorokon végezhetők, a fejlesztési kutatásokat viszont a tényleges motorokon kell végrehajtani. A motorokban lefolyó fizikai és kémiai jelenségek igen gyors lefolyásúak, ezért a mérőberendezésekkel szemben nagy követelmények merülnek fel.

A nagy fajlagos teljesítmény elérése céljából a hengerekbe *minél több levegőt* kell juttatni. Ez elsősorban gázdinamikai probléma. Intenzív kutatás tárgyát képezi a *töltéscsere folyamat* is, vagyis a munkát végzett gáz kiürülése a hengerből és a friss levegő beáramlása. Fontos feladat a ki- és beömlő csatornák, valamint csővezetékek áramlástanilag helyes kialakítása, továbbá a helyes időkeresztmetszet biztosítása. A csőhosszak helyes megválasztásával a gázlendégek mind a szívó-, mind a kipufogócsőben előnyösen kihasználhatók a töltéscsere javítása céljára.

A töltési fok további jelentős növelése *töltőkompresszor* (turbótöltés) alkalmazásával érhető el. A töltő és a motor összehangolása, a csővezetékek kialakítása intenzív kutatás tárgya, amely elsősorban az alapvető, ma már ismert összefüggések és számítási módszerek finomítására irányul. A turbófeltöltő a vasúti Diesel-motoroknál általánosan elterjedt. A közúti járműveknél is használják, de még nem terjedt el általánosan. Traktormotorokon még csak elvétve figyelhető meg a 150 Le feletti teljesítményeknél.

A hengerbe juttatott elegendő mennyiségű friss levegő szükséges, de nem elegendő feltétele a nagy fajlagos teljesítménynek. A teljesítmény annál

nagyobb, minél több *tüzelőanyag időbeni és teljes elégetése* valósítható meg; ennek mértékét a *keverékképzés és az égés* fizikai-kémiai folyamatai szabják meg.

Ez utóbbi kérdéskomplexum talán a Diesel-motorok elméletének egyik legnehezebb és részleteiben legkevésbé kikutatott része. A keverékképzés és az égés igen rövid idő alatt folyik le, és ez alatt a tüzelőanyagot be kell adagolni, a párolgás gyorsítása céljából felületét meg kell növelni (porlasztás vagy filmképzés), az elpárolgotatott tüzelőanyagnak megfelelő koncentrációt kell alkotni a friss levegővel a közben megindult oxidáció pillanatnyi állapotának megfelelően, ami aztán végül is a tüzelőanyag időbeni (kb.  $50^\circ$  forgattyúszögnek megfelelő elfordulás alatti) és teljes elégéséhez vezet.

Az időbeni és teljes elégés eredménye az adott tüzelőanyag-mennyiségből nyerhető maximális teljesítmény, a kis fajlagos fogyasztás és a füstölésmentes üzem. Ezenkívül hatással van hőátadási és hőterhelési folyamatokra is, elsősorban a lángsugárzás útján. Minél tökéletesebb és rövidebb az égés, annál átlátszóbb a láng és annál rövidebb a sugárzás ideje is.

Fontos feladat az égés szabályozása, vagyis a megfelelő égéstörvény betartása. Ezáltal lényegesen befolyásolható (csökkenthető) a csúcsnyomás értéke, amely utóbbi a mechanikai igénybevételt, a mechanikai hatásfokot és a hőátadási tényezőt is befolyásolja.

A *hőátadás és hőterhelés* az erőltetett üzemű (feltöltött) motorok egyik legfontosabb problémája. A szívómotoroknál, ha az égésfolyamat jó, a hőterheléssel kapcsolatban különösebb problémák általában nem merülnek fel. Azonban itt is meghatározott összefüggés áll fenn az adott hengerátmérő és a hozzá alkalmazható maximális fordulatszám között.

A feltöltött motoroknál a töltési nyomás fokozásakor növekszik a hengerben a nyomás és következésképpen a hőátadási tényező is. Ezért a töltési nyomás fokozásakor csak növekvő légeleslegténytényezővel érhető el a hőterhelés állandósága. Ez viszont a levegő kihasználását rontja és végeredményben kisebb teljesítmény vehető ki a motorból, mint ahogyan azt a keverékképzési és égési folyamatok megengednék. A kutatások feladata olyan megoldásokat találni, amelyek vagy a hőterhelést csökkentik, vagy nagyobb hőterhelés biztos elviselését teszik lehetővé. A szabad légárammal hűtött kétütemű motorkerékpár-motorok hőterhelése elég sok gondot jelent, amelyeknél a fajlagos teljesítmény sokszor igen nagy.

A *mechanikai veszteségek* kutatása is fontos feladat. Ma ugyanis még pontosan nem ismeretes, hogy a mechanikai veszteségek a különféle ható tényezőktől hogyan függnek. Ennek következtében nem tudjuk megfogalmazni az *optimális körfolyamat* feltételeit sem, amely az adott viszonyok között a legnagyobb hasznos teljesítményt és legkisebb fajlagos fogyasztást szolgáltatná. Az optimális körfolyamat feltételeinek megfogalmazásához megbízható hőátadási összefüggésekre is szükség van. Megemlítenéd, hogy ezen a területen

éppen hazánkban, lényeges előrehaladás tapasztalható mind a hőátadási összefüggéseket, mind pedig a mechanikai veszteségek analizisét illetően.

Sok kutatást igényelnek a motor *szilárdsági és kopási* kérdései. A szilárdsági igénybevételek gázerőkből, tömegeerőkből és hőfeszültségekből erednek. Ezek részben állandó, részben periódusosan változó összetevőkből állnak. A motorüzem hirtelen változásakor az említett igénybevételek szintén változnak.

Nagy motoroknál a forgattyúház és a főtengely együttes számítása okoz problémát a rugalmas deformációk figyelembevételével. Nem ismeretes, hogy a periódusosan változó hőigénybevétel mennyiben okozója a gyakran megfigyelhető kifáradásos repedéseknek, töréseknek.

Az *élettartam* növelése szempontjából nagyon fontos a kopási jelenségek ismerete, amelyhez szorosan kapcsolódik a *kenélmélet* további kutatása, különös tekintettel a nagy hőmérsékletre és az *adalékolt olajok* viselkedésére. A dugattyúcsoport hőterhelésének felső határát ugyanis jelenleg elsősorban a kenési feltételek korlátozzák.

A *levegő* szennyeződése, ill. *tisztítása* is lényeges tényezője a kopásnak.

Az összes motoroknál fontos feladat a *zajcsökkentés* lehetőségeinek kutatása, mind a motoron belül, mind azon kívül.

A korszerű vasúti üzem megkívánja a *szabályozás- és automatizálástechnikai* kutatások folytatását, a jövőben még a motor optimális körfolyamatának automatikus beállítását illetően is.

Traktormotoroknál, tekintettel a váltakozó jellegű terhelésre, kutatás tárgyát képezi a regulátor egyenlőtlenségi fokának, a regulátor érzéketlenségi zónájának és a lendítőkerék tehetetlenségi nyomatékának optimális összehangolása, valamint a motor viselkedése instacionárius (lassuló, gyorsuló) üzemben.

Mindezekre való tekintettel a Diesel-motor fejlesztés feladatai, különös tekintettel a járműközlekedés és mezőgazdaság követelményeire, a következőkben foglalhatók össze:

a) a szilárdságtani számítások pontosabbá tétele, elsősorban a főtengely és forgattyúház rugalmasságának figyelembevételével;

b) adott hőmérsékletmező okozta hőfeszültségek számítása a ciklusonként, változó hőmérséklet és az üzemállapottal változó hőmérséklet figyelembevételével, továbbá az utóbbiak befolyása a kifáradásra;

c) a motor dinamikai tulajdonságainak vizsgálata, nevezetesen, hogy a motor miként reagál hirtelen (lépcsős) terhelésváltozásra vagy periódusosan változó terhelésre (statikus és dinamikus nyomatéki karakterisztika), a hőmérséklet, ill. hőterhelés amplitúdójának változása a terhelésingadozás amplitúdójának függvényében.

a turbófeltöltés reagálása hirtelen vagy periódusosan változó terhelésre;

d) a légfeleslegtényező csökkentésének lehetőségei szívó motoroknál, a keverékképzés és égés javítása útján;



e) a légfeleslegtényező csökkentésének lehetőségei feltöltött motoroknál a hőterhelés csökkentése útján (dugattyúhűtés, dugattyúfedél-szigetelés, kenési problémák);

f) a zajcsökkentés lehetőségei a motoron belül és kívül;

g) a mechanikai veszteségek elemzése és csökkentésük lehetősége;

h) az élettartamot és üzembiztonságot befolyásoló tényezők kutatása;

i) a járműgázturbinák egyes kérdéseinek kutatása, a Szovjetunió intézményeivel való együttműködés lehetőségeinek kihasználása útján.

### III. A hazai kutatás helyzete és eredményei

A hazai kutatásnak nincs olyan központi tudományos kutató intézete, amely a belsőégésű motorok problémáinak tudományos szintű kutatását (az alap és alkalmazott kutatást) végezné; pedig a motorgyártással foglalkozó szocialista és kapitalista államok általában jól felszerelt kutatóintézetekkel rendelkeznek (pl. a Szovjetunióban a CNIDI, NAMI; Csehszlovákiában az UVMV; a Német Demokratikus Köztársaságban a WTZ; Romániában az Institutul de Energetica; Ausztriában az Anstalt für Verbrennungsmotoren, Prof. H. LIST).

A hazai *alap és alkalmazott kutatások* zömében a műszaki egyetemek tanszékein és az oda telepített akadémiai kutatóhelyeken folynak. A *fejlesztő kutatásokat* és bizonyos esetekben alkalmazott kutatásokat az érdekelt ipari vállalatok (*Ganz-MÁVAG Mozdony-, Vagon- és Gépgyár, Magyar Vagon- és Gépgyár, Csepel Autógyár, Kismotor és Gépgyár Vállalat, Csepeli Motorkerékpárgyár*) végzik. Egyedül a közúti járműipar rendelkezik a *Járműfejlesztési Intézettel*, amely többek között foglalkozik jármű Diesel-motorok fejlesztésével. A *Magyar Ásványolaj- és Földgázkísérleti Intézet* kenéstechnikai kérdésekben segíti a motorfejlesztést.

A belsőégésű motorok területén folyó kutatás irányítására, koordinálására és ellenőrzésére 1962 óta az *Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv* keretében a 21. főfeladatot jelölte meg a kormányzat. A feladat végrehajtására a kohó- és gépipari miniszter koordináló bizottságot nevezett ki. 1967 végén a Minisztertanács az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottságot* bízta meg az *Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv* ellenőrzésével.

A zömmel műszaki egyetemek tanszékein folyó alap és alkalmazott kutatások jelentősebb kérdései a következők:

A porlasztás finomsága és a sugár behatoló képessége; az optimális keverékképzési igény az előoxidációs folyamatok szempontjából; hőátadás és légellenállás bordás felületeken; a konvektív és sugárzási hőcsere számítása belsőégésű motorokban; a Diesel-motor egyes alkatrészeinek (beleértve a dugattyút is) hőállapota és a hőmérséklet számításainak lehetőségei a Diesel-

motor mechanikai veszteségeinek vizsgálata; a munkafolyamat számítása számítógéppel; a turbótöltés problémáinak vizsgálata; föld- és biogáz hajtóanyagként való felhasználásának lehetőségei; elosztó-rendszerű tüzelőanyag-szivattyúk vizsgálata és korszerűsítése; szilárdságtani és lengéstani vizsgálatok; motorkerékpár motorok léghűtésének vizsgálata. E kutatások eredményei közül több jelentős külföldi elismerést kapott.

A kutatóintézetek közül a *Járműfejlesztési Intézet* végez kiterjedt motor-vizsgálatokat. Végzi a motorok próbatermi és üzemi alkalmassági, valamint tartóssági vizsgálatait korszerű mérési módszerekkel (pl. izotóptechnikával). Foglalkozik a gépkocsi Diesel-motorok kifejlesztésével, a technológiai módszerek kidolgozásával és ipari bevezetésével, továbbá korlátozott mértékben alkalmazott kutatásokkal is, mint pl. az inerciafeltöltés elvi vizsgálatával, ami elismerésre méltó eredményeket hozott.

A vasúti és egyéb nagy motorokkal kapcsolatos fejlesztő és alkalmazott kutatásokat a *Ganz-MÁVAG Mozdony-, Vagon- és Gépgyár* végzi. A külön fejlesztési—kutatási részleg komoly szellemi és anyagi kapacitással foglalkozik e nagy motorok jellegzetes problémáival, illetve ezek megoldásával. A gyár nagy hagyományokkal rendelkezik: ismeretes, hogy 40 évvel ezelőtt született meg a *Ganz—Jendrassik* motor, amelynek néhány típusát még ma is gyártják.

Az *Autóközlekedési Tudományos Kutató Intézet* elsősorban autómotorok értékelő vizsgálatával foglalkozik és a javítási technológiai módszereket dolgozza ki; a *Vasúti Tudományos Kutató Intézet* a járműmotorok kopási törvényszerűségeinek tudományos megállapítását vizsgálja; a *Magyar Ásványolaj és Földgáz Kísérleti Intézet* a járműmotorok kenéstechnikai problémáit és a különbözőképpen adalékolt olajok kifáradását kutatja, a *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* a hűtőberendezések áramlás- és hőtechnikai paramétereit állapítja meg.

A motorgyártó üzemek új gyártmányaik kifejlesztését és a meglevő típusok továbbfejlesztését végzik. A közúti járművek Diesel-motorai területén a *Járműfejlesztési Intézet* mellett jelentős fejlesztési munka folyik a *Magyar Vagon- és Gépgyárban*, a *Csepel Autógyárban*, továbbá a *Kismotor és Gépgyár Vállalatnál*.

A hajók Diesel-motorainak fejlesztését a *Láng Gépgyár* végzi.

Az ipari vállalatok az alapkutatási jellegű feladatok megoldásában legtöbbször együttműködnek *egyetemi tanszékekkel*.

A hazai belsőégésű-motor kutatások eredményességét több körülmény gátolja. Az egyetemi tanszékek, bár nagy szellemi kapacitással rendelkeznek, a jelenlegi oktatási terhelések mellett folyamatosan és rendszeresen nem tudnak kutatásokat végezni. A tanszékek műszerezettsége sem minden esetben kielégítő és a külföldi műszerek, valamint anyagok beszerzése is nagyon nehéz, hosszadalmas. Ezért az elért eredmények a szellemi kapacitáshoz viszonyítva nem túlságosan nagyok.

A belsőégésű motorok folyamatai általában igen bonyolultak és a kutatótól megkövetelik az instacionárius áramlástan, a párolgás és diffúzió, a reakciókinetika, az instacionárius hőcsere stb. magasszintű ismeretét. Ezeknek a követelményeknek nem könnyű megfelelni és különösen az égési folyamatok idegenek gyakran a gépészmérnök számára. A kísérletileg nyert adatok célszerű feldolgozása is sokszor problémát jelent. A feldolgozást úgy kell végezni, hogy az minél általánosabb érvényű megállapításokat tehessen lehetővé. Egyébként az elvégzett kísérlet csak az adott viszonyok mellett érvényes és minden egyes újabb alkalommal újra kell azt elvégezni, így a nagyszámú kísérlet ellenére sincs előrehaladás. Ezen a területen lényeges előrehaladást kell tenni és itt elsősorban a szakmérnökképzésre várnak jelentős feladatok.

A kutatóintézetek a jelenlegi viszonyok mellett nincsenek abban a helyzetben, hogy önállóan, saját program szerint alap és alkalmazott kutatásokat végezzenek; csak akkor képesek erre, ha az ipar megrendelést ad. Az ipar viszonylag elavult technológiával drágán állítja elő termékeit és így kevés pénze marad a kutatásokra. A gyár szempontjából első a fejlesztési kutatás, ezért az alap és alkalmazott kutatásokra, amelyek eredménye csak később jelentkeznek, nem áldoz. Ez a helyzet azonban előbb-utóbb megbosszulja magát, mert a fejlesztő kutatás éppen az alap és alkalmazott kutatások eredményeit használja fel.

Mindezek lényegesen hozzájárultak ahhoz, hogy mind a vasúti, mind pedig a közúti járműipar licencia-vásárlásra kényszerült. A licencvásárlásnak van azonban még egy további oka is, nevezetesen az, hogy az ipar a technológiai színvonalat nem tudta megfelelően fejleszteni és így jelentős lemaradás állt elő. Ezt a lemaradást a licencvásárlással kívánják többé-kevésbé felszámolni.

Fel kell azonban a figyelmet hívni, hogy a licencvásárlás ugyan jelenleg sok problémát megold és lehetővé teszi a világszínvonal megközelítését, de ha a rendszeres kutatásokat nem folytatjuk, akkor a lemaradás néhány év leforgása után ismét bekövetkezik. Tehát a szint megtartásáért érdekében feltétlen további szívós munkára van szükség.

#### IV. A közúti járművek Diesel-motorai

##### 1. A világhelyzet

A tehergépkocsik és autóbuszok motorjai 100 Le felett kevés kivétellel Diesel-motorok. Az ötvenes évek elején a kétütemű Diesel-motorok még versenytársai voltak a négyüteműeknek, de lényegesen nagyobb hőterhelésük a szerkezeti anyagok és kenőolajokkal szemben olyan fokozott követelményeket támasztott, ami a továbbfejlesztési lehetőségüket nagymértékben korlátozta.

A negyvenes évek végén néhány kivételtől eltekintve a közúti gépjárművek Diesel-motorai legfeljebb 100 ÷ 130 Le teljesítményűek voltak. A közúti

közlekedés igényeinek nagymértékű növekedése és a vasúttal szemben történő térhódítása következtében ma a teljesítmény felső határa 250 Le körül van. Az alkalmazási helyeknek megfelelően  $80 \div 100$  Le körüli alsó határtól a felső határig a gyárak különböző teljesítményű Diesel-motorokat gyártanak.

A közúti gépjárművek motorjainak kategóriájába tartozó nagyobb teljesítményű motorokat feltöltve és esetleg nagyobb hengerszámmal egészen 400 Le teljesítményig nehéz földmunka-gépeken, sínautóbuszokon is alkalmazzák.

A gazdaságos gyártás érdekében a különböző teljesítményű motorokat korábban azonos hengerem felhasználásával a családellen alapuló építőszekrény-konstrukció alapján állították elő. A sok közös alkatrész ugyanis nagyobb darabszámban gazdaságosabban gyártható.

Ma már egy négyhengeres és egy hathengeres típus a sokkal szélesebb teljesítménytartományt nem fogja át. Fokozottabb követelményeket kell kielégíteni: gondoskodni kell a motor nyugodt, egyenletes járásáról. Ebből a szempontból a soros hathengeres motor kiváló, mert nem lépnek fel másodrendű szabad tömegezők, amelyek a soros négyhengeres motornál elkerülhetetlenül rázást okoznak. A hathengeres soros motor jó fajlagos teljesítménybeli és beépítési szempontjai alapján is kedvezőbb egy azonos teljesítményű, de kisebb hengerszámú motornál.

A nyolchengeres soros motor beépíthetőségi és lengéstani szempontból kedvezőtlen. A felsoroltak miatt a gyárak ma már nem követik a családeltvet, hanem különböző teljesítményű, eltérő furat-löket méretű hathengeres motorokat gyártanak. Általában 2—3 típussal rendelkeznek a 100 Le feletti teljesítmény-tartományban. A francia *Berliet* cég jelent csak kivételt az elmondottakkal szemben, mert  $120 \times 140$  mm furat-löket méretű motorját négy-, öt- és hathengeres változatban gyártja.

A *V* elrendezésű motorokat gyártó cégek (*JAMZ*, *Cummins*, *Krupp*, *MWM*) viszont követik a családeltvet. A soros és *V* motorok hengerelemei között olyan nagy az eltérés, hogy nem alkothatnak közös családot.

Általában nagyobb teljesítményű új típust csak közvetlen befecskendezésű égéstérrel készítenek. A kamrás motorok alkalmazási területe visszaszorult a kisebb teljesítményű és a percnként  $3500 \div 4000$  nagyfordulatszámú motorokra.

A Diesel-motorok teljesítményének növelésére leghatásosabb eljárás a *feltöltés*. Az ötvenes évek elején a korábbi mechanikus feltöltés helyett turbófeltöltőket kezdtek alkalmazni a sorozatban gyártott motoroknál. A turbófeltöltő viszonylag könnyen elhelyezhető, mert nem kell mechanikus hajtásról gondoskodni. Kedvező összehangolás esetén a motor összhatalásfokát javítja.

A svéd *Volvo* és a *Scania Vabis* gyárak érték el a legjobb eredményeket a turbófeltöltés terén. Alapkonstrukcióiknál már tekintettel voltak a feltöltés követelményeire. A szokatlanul nagymértékben feltöltött motorjaiknál igen jó élettartamot és üzembiztonságot értek el.

A feltöltés másik módja a *dinamikus feltöltés*, amellyel  $10 \div 15\%$  teljesítménynövekedés érhető el. Előnye, hogy nincs mozgó, könnyen meghibásodó alkatrésze. Ha a gépjárműben lehetőség van hosszabb szívócsövek elhelyezésére, úgy ezzel az eljárással a motorok kis ráfordítás útján tovább fejleszthetők. Újabban a *Brown—Boveri* gyár „Comprex” feltöltőket ajánl.

Az égéstér és általában a motorfejlesztésre elsősorban a fajlagos motorjellemzők alakulása az irányadó. Az 1952-től 1966-ig terjedő 15 éves időszakot véve alapul, a rendelkezésre álló kiválasztott 180 Le fölötti szívásos hathengeres motortípusok adataiból képzett átlag alapján a fajlagos motorjellemzők a következők szerint alakultak:

A fajlagos teljesítmény átlaga 1952-ben 14,7; 1966-ban pedig 18,4 Le/liter volt. A svéd turbófeltöltéses motorok megfelelő adata 1961-ben 21 Le/liter; 1966-ban pedig 25 Le/liter.

A *maximális effektív középnyomás* átlaga 1952-ben 7,62 kp/cm<sup>2</sup>; 1966-ban pedig 8,57 kp/cm<sup>2</sup> volt. Az átlagos értékek 1960-ig lassabban emelkedtek, mint 1960 után. A turbófeltöltéses motoroknál az átlag 11 kp/cm<sup>2</sup>.

A *fajlagos motorsúly* átlaga 1952-ben 5,7 kg/Le; 1966-ban pedig 4,04 kg/Le volt. A legkisebb érték 3,34 kg/Le, a különleges felépítésű, nagy fordulatszámú Cummins motornál.

A *dugattyú középsebesség* átlaga 1952-ben 9,3 m/sec; 1966-ban pedig 10,3 m/sec volt.

A motorok *fajlagos fogyasztás* szerinti értékelése ma már nem szokásos, mert nem nyújt hővebb felvilágosítást. A felhasználót csak az *országúti átlagfogyasztás* érdekli.

29 európai motorgyár 1966—1967 évben gyártott 100 Le-nél nagyobb teljesítményű közúti gépjármű Diesel-motorjainak fontosabb átlagos adatai a következők: Fajlagos teljesítmény  $18 \div 21$  Le/liter; *effektív középnyomás* 8—8,5 kp/cm<sup>2</sup>; *fajlagos súly* 4 kg/Le; *dugattyú-középsebesség* 10 m/sec.

A közvetlenül mérhető motor-jellemzőkkel egyenrangú és mind nagyobb jelentőségű az *élettartam*, amin két nagyjavítás közötti tényleges kilométerteljesítményt kell érteni. Sokáig a 100 000 km-es élettartam megfelelő eredménynek számított, de ma már az elfogadható határ 200 000 km-re, mint alsó határra emelkedett. Az élettartam növelésére irányuló állandó fejlesztő munka folytán további növekedés várható.

## 2. A hazai helyzet

Magyarországon 1968-ig közúti gépjármű Diesel-motorokat sorozatban csak a *Csepel Autógyár* gyártott. A gyártást 1949-ben kezdték el *Steyr* licencia alapján. Gyártanak soros négy- és hathengeres motorokat sokféle típusváltozatban. E motorok kerülnek beépítésre a nagy autóbuszok kivételével valamennyi sorozatban gyártott közúti gépjárműbe, sőt csökkentett fordulatszám-



mal és töltéssel traktor, dömpér, hajó- és stabil motorként is felhasználják. A *Csepel motorok*  $110 \times 140$  és  $112 \times 140$  furat-lökettel készülnek;  $\varepsilon = 21$ , ill.  $\varepsilon = 20$  kompresszióviszonyú előkamrás égéstérrel. A hathengeres típusnak turbófeltöltéses változatát is gyártják kisebb darabszámban. A győri *Magyar Vagon- és Gépgyár* 1969-től licencia alapján elkezdte a *MAN 2156 HM* típusú hathengeres álló és fekvő elrendezésű soros motor szériagyártását.

Az autóipar tervező, fejlesztő és kutató intézete a *Járműfejlesztési Intézet*. Feladata új gyártmányok és gyártmánycsaládok kialakítása, valamint prototípus-példányok legyártása és kipróbálása; végzi továbbá e feladat teljesítése érdekében a szükséges kutatómunkát. Jelenleg folyamatban van a *Csepel Autógyár*, a *Magyar Vagon- és Gépgyár*, valamint a *Járműfejlesztési Intézet* kutató munkájának koordinálása.

A *Csepel Autógyár* a *Steyr* licencia alapján gyártott motortípus fejlesztését végzi. Kidolgozták az eredetileg 110 mm furatú motor fokozott teljesítményű 112 mm-re növelt változatát. Kidolgozták továbbá a *D-614* típusú motor turbófeltöltéses változatát. A feltöltött motor teljesítménye 170 Le. A turbófeltöltéses motorokkal szerzett üzemi tapasztalatok igen kedvezők. A kilométer-teljesítményük nem marad el a szívásos motorok kilométer-teljesítményétől. A nagyobb sorozatban való gyártásukat akadályozza, hogy a feltöltőket import útján kell beszerezni, bár gyártásra érett hazai konstrukció is rendelkezésre áll.

Kutató munkájuk a motor teljesítményének további növelésére irányul. Ennek érdekében vizsgálják különböző gyártású és típusú turbótöltők illesztését, különböző dugattyú-alakokat és dugattyú-bevonatokat, a csapágyazást, a szívócső-változatokat, a vezérlés hatását, valamint a kipufogófék alkalmazásának megoldását a turbótöltött motornál.

A gyár fejlesztő munkája a motor élettartamának növelése terén eredményes volt, azonban még így is elmaradás tapasztalható a külföldi szinthez mérten; ezért az élettartam fokozása a gyár szakembereinek egyik legfontosabb feladata.

A *Magyar Vagon- és Gépgyárban* a *MAN* licencia alapján gyártandó motorok teljesítményét az álló típusnál 200 Le-re, a fekvő elrendezésűnél pedig 192 Le-re állítják be. A gyár feladata elsősorban a licencia-átadó gyártmányaival egyenértékű minőség elérése. A licencia-átadó a szerződés értelmében a motorral kapcsolatos fejlesztési eredményeket folyamatosan a gyár rendelkezésére fogja bocsátani. A megvásárolt licencia lehetővé teszi a nemzetközi élvonalhoz való felzárkózást.

Már a licencia átvétele idején közvetlen feladatot jelent az, hogy belföldi anyagból, belföldi szerelvényekkel felszerelt motorok megbízhatósága ne legyen kisebb a licencia-átadó gyár motorjainál. Néhány olyan feladat is adódott, mint pl. a hidegindítás, ami más súllyal jelentkezik a licencia-átadó piacain, mint a magyar járműipar termékeinek felhasználóinál.

A gyár jól felszerelt laboratóriumaiiban a hazai fejlesztés érdekében a korábbi vasúti Diesel-motorok területén foglalkoztatott fejlesztő-kutató apparátusával a motorban lejátszódó folyamatokat igyekszik minél mélyebben feltárni.

A *Járműfejlesztési Intézet* 20 év óta foglalkozik Diesel-motorok vizsgálatával. Az eltelt időszakban olyan laboratóriumokat rendezett be és olyan vizsgálóberendezéseket szerzett be, tervezett és részben gyártott le, amelyek az eredményes fejlesztés érdekében végzendő kutatás elengedhetetlen feltételei. Az intézet kidolgozta az igényeknek megfelelő új, osztatlan égésterű motorcsalád terveit, továbbá legyártotta és megvizsgálta a prototípusokat. A motorcsalád 4 és 6 hengeres tagjai műszaki mutatók tekintetében a világszint átlagán vannak. A *D 406*-os négyhengeres soros álló típus 120 Le, a hathengeres *D-609* típusú pedig 180 Le teljesítményű. Mindkét típust álló és fekvő változatban dolgozták ki.

Később olyan döntés történt, hogy a gyártásba való gyorsabb bevezethetőség érdekében az előzőekben már említett *MAN* motor licenciáját kell megvásárolni és gyártásba bevezetni. Ezt a döntést különösen az indokolta, hogy a licenciával a gyártó győri *Magyar Vagon- és Gépgyár* a gyártási technológiát is megkapja.

A motorok dinamikus feltöltésére végzett kutatás lehetővé teszi a teljesítmény  $10 \div 15\%$ -kal való növelését anélkül, hogy az egyéb mutatók megváltoznának. Kidolgozták a *Csepel D-614* álló és fekvő, valamint *D-414* álló motorok dinamikus feltöltéséhez alkalmas szívórendszer konstrukcióját. A motorok teljesítménye hathengeres típusoknál 160, a négyhengeres típusoknál pedig 105 Le-re növekedett.

Az élettartam, zaj és üzembiztonság szempontjából nagyfontosságú a motorok működése során jelentkező rezgések és lengések vizsgálata. Az e téren végzett elméleti és laboratóriumi kutatás alapján kidolgozta az intézet a Diesel-motorok főtengelyéhez a kettős felfüggesztésű szilikon-olajos, ingástorziós lengéscsillapító számítási, valamint vizsgálati módszerét és konstrukcióját. Vizsgálták továbbá az égés lefolyása és az égési zaj közötti összefüggés törvényszerűségeit, valamint az egyes zajforrások okozta zaj csökkentésének lehetőségeit. Az egészségre káros kipufogógázok, a Diesel-motorok füstölésének csökkentésére a *Magyar Ásványolaj és Földgáz Kísérleti Intézettel* együttműködve a tüzelőanyagba kevert különböző füstcsökkentő adalékanyagok hatásosságát kutatták.

## V. Vasúti Diesel-motorok

### 1. A világhelyzet

A belsőégésű motorok egy jelentős csoportja a közepesen nagy teljesítményű gépek, amelyek elsősorban vasúti járművek hajtására szolgálnak. Ezek kivétel nélkül Diesel-motorok. Hengerenkénti teljesítményük mintegy

150—250 Le. Az itt felhasznált Diesel-motorok túlnyomórésze négyütemű. Néhány kétütemű típust azonban nagy példányszámban gyártanak mind a Szovjetunióban, mind pedig a tengerentúl. A kétütemű nagy Diesel-motor kifejlesztése és előállítása területén néhány gyár rendkívül nagy tapasztalatra tett szert, ezek nagy mennyiségben és kiváló minőségben gyártják ezeket a motorokat. A világ motorgyárainak jelentősebb része azonban — azok nagyobb motorteknikai fejlettsége folytán — négyütemű motorokat fejleszt tovább.

Vasúti Diesel-motoroknál a fejlődés a szokatlanul nagy fajlagos teljesítmények felé irányul. Ennek következtében kis beépítési térfogatú, nagyteljesítményű Diesel-motorok fejlődtek ki. A vasúti motorok megkövetelte nagy fajlagos teljesítmény megvalósítására igen magas fejlettségi szintet ért el a motorok kipufogó gázturbinás feltöltése. Az utóbbi 10 év során a motorok teljesítményére jellemző effektív középnyomás a szívómotoroknál szokásos  $6 \div 7$  kp/cm<sup>2</sup> értékről napjainkban  $16 \div 18$  kp/cm<sup>2</sup>-re növekedett.

A középnyomáshoz hasonlóan növekszik a motorok fajlagos teljesítménye, vagyis a hengertérfogat 1 liternyi hányadára eső teljesítmény. A 10 év előtti  $7 \div 10$  Le/liter érték napjainkig — a sorozatgyártású motoroknál is —  $20 \div 27$  Le/literre növekedett. Növekszik a motorok egységteljesítménye iránti követelmény is. Napjainkban a legnagyobb vasúti Diesel-motorok egységteljesítménye 4000 Le és a fejlesztési törekvés abba az irányba mutat, hogy ezt a teljesítményt 1 motoregységgel kell megvalósítani, lehetőleg 16-nál nem nagyobb hengerszámmal.

A vasúti Diesel-motorok kategóriájának fejlődését tartós elméleti, kutató és kísérleti munka előzi meg. Ez kiterjed elsősorban a motorok égési és gázcserefolyamatának kutatására; a turbófeltöltés fejlesztésére, valamint a szilárdsági méretezéssel kapcsolatos metallurgiai, technológiai stb. feladatok megoldására. Szoros együttműködést igényel a kenési problémák megoldása vonatkozásában a petrokémiai tudománnyal is.

A vasúti Diesel-motorok kategóriájába tartozó gépek jellemző adatai a világszint élén haladó motoroknál: *hengerteljesítmény*  $150 \div 250$  Le; *fajlagos teljesítmény*  $20 \div 27$  Le/liter; *középnyomás*  $14 \div 16$  kp/cm<sup>2</sup>; *fajlagos súly*  $3 \div 5$  kg/Le; *fordulatszám* percenként  $1100 \div 1500$  és a *közepes dugattyúsebesség* 10 m/sec.

## 2. A hazai helyzet

A vasúti járművek Diesel-motorjainak gyártásával hazánkban csak a *Ganz-MÁVAG Mozdony-, Vagon- és Gépgyár* foglalkozik. Így az ezek közvetlen fejlesztésére és kutatására fordított tudományos munka az ipar területén csak itt folyik. E gyárban a következő kutatások folynak: vasúti és stacioner üzemű Diesel-motorok motorteknikai (méretezési, termikus, szilárdsági, lengéstani, élettartam, vezérlési és szabályozási, automatizálási stb.) jellemzőinek kutatása; motorteknikai és hőtechnikai elektronikus számítási prog-

ramok kidolgozása és alkalmazása; tenzometrikus feszültségmérési módszer kifejlesztése; a motorforgattyúház üzemi deformációinak mérése; nagy-nyomású turbófeltöltés alkalmazása vasúti motoron; a motor és a turbótöltő összehangolási módszerének kidolgozása; a nagynyomású turbófeltöltő kifejlesztése; vasúti Diesel-motorok egységes olajhűtő-hőcserélőinek, valamint levegő-visszahűtőinek kifejlesztése, előkamrás motorok égési rendszerének továbbfejlesztése; új, nagy fajlagos teljesítményű horizontális vasúti motor kifejlesztése; vasúti motorok minősítő alkalmassági és tartóssági próbáinak lefolytatása.

A kutatási eredmények hasznosítására jellemző fejlesztési tevékenység háromirányú: futó gyártmányok továbbfejlesztése, a licencia alapján gyártandó motorok bevezetése, valamint új vasúti Diesel-motor kifejlesztése. A jelenlegi továbbfejlesztés tárgya a 17/24 típusú, az 50-es évek elején kifejlesztett mai típusjelén 12 VFE 17/24 és 16 VFE 17/24 típusú motorok. A többéves kutató-fejlesztő tevékenység a motorteljesítmény növelésére és az élettartam meghosszabbítására irányult.

A licenciában gyártandó vasúti motor területén az 1963. évi ajánlatkérés, a megfelelő típus kiválasztása, valamint a műszaki és kereskedelmi tárgyalások befejezése után a honosítás munkája 1967-ben indult meg. Megvételre került a francia *Chantiers de l'Atlantique* vállalat *S.E.M.T. Pielstick 185 PA 4* típusú motorcsaládja. A motorcsalád 6—18 hengerű változatokat ölel fel  $900 \div 2700$  Le teljesítményig. A gép négyütemű, előkamrás égésterű, vízhűtéses vasúti Diesel-motor. Nagy fajlagos és nagy egységteljesítményű, korszerű konstrukciós és gyártási elveken épített motor. Műszaki mutatói a világszint élvonalába helyezik, mert *hengerenkénti teljesítménye* 150 Le/henger; *effektív középnyomása* 16 kp/cm<sup>2</sup> és *literteljesítménye* 26,6 Le/liter. A licenciaszerződés kapcsán a motor gyártási dokumentációja mellett egyes motorelemek (dugattyú, szűrők stb.) konstrukciós és gyártási dokumentációja, másoknál (hajtórúd, szelepek stb.) a gyártási technológia megszerzése is szükségessé vált.

A licencia-motorok két típusára vonatkozó dokumentáció honosítása elkészült, a többi típusé pedig folyamatban van. Ugyancsak feldolgozták ezek gyártási technológiáját mind a *Ganz-MÁVAG Mozdony-, Vagon- és Gépgyár* üzei, mind a bedolgozó vállalatok. A prototípusok alkatrészgyártása megindult, a motorok 1969-ben már elkészültek, a sorozatgyártás indulását 1970-re tervezik.

A licencia-motorok forgalmazására tett előkészületek a következők: egy nyolchengeres mintamotort beépítettek a DHM5 jelű, 1200 Le-s mozdony prototípusába. Tervezés alatt áll a 18 hengeres motorral építendő 2700 Le-s Diesel-villamosmozdony (prototípus 1970-ben). Előkészület alatt áll a licencia-motorok stabilüzemű felhasználása olajfűró- és mozgó gépcsoport céljára.

A gyár 1963-ban kezdte el a 18/19 típusjelű motorcsalád fejlesztési munkáját. A licencia-gyártásra kötött szerződéssel ezek a motorok V-henger-

elrendezésű típusainak fejlesztése a gyár részére érdektelenné vált és így törölték a gyár fejlesztési programjából. Továbbfejlesztés alatt áll viszont a *6 HF 18/19* jelű horizontális motor. Ennek két példánya figyelemre méltó üzembiztonsággal nagy élettartamra utaló csekély elhasználódással és igen kedvező műszaki mutatókkal végzett 840, ill. 500 órás tartóssági próbát. Jelenleg elő van készítve padló alatti hajtású motorkocsiba való beépítésre és vasútüzemi próbára.

A fejlesztési munka során kidolgoztak egy különleges nagyszilárdságú könnyűfém forgattyúházat, az eddigi acéllemezből hegesztett ház helyettesítésére. Tudományos szintű előtanulmányt és előkísérletet végeztek egy különleges szerkezettel, amellyel a motor munkaciklusát automatikusan befolyásolva, beszabályozott maximális égési gáznyomást lehet megvalósítani szélsőségesen nagy középnyomás mellett is. Ennek eredményes próbája a négyhengeres kísérleti motoron kedvező műszaki mutatókat adott.

## VI. Hajó Diesel-motorok

A *Láng Gyár* hajó Diesel-motorjainak eddigi fejlesztése a magyar hajóipar fő motorigényének komplett kielégítésére irányult, a  $200 \div 1000$  Le-ig terjedő lassú járású tartományban, a mindenkori igényeknek megfelelően, távvezérlésű kivitelben is. Hajómotor-gyártásunk erősen függ a hajóipar igényeitől, ezen túlmenő igény csak a gépcsoport területén van.

Újabban megállapították, hogy a magyar hajóipar megváltozott teljes motorigényét nem tudják gazdaságosan kielégíteni, így többek között nem tudnak kis teljesítményű, gyorsjárássú motorokat gazdaságosan gyártani, valamint a meglevőknél nagyobb teljesítményű motortípus kifejlesztését sem tartják kifizetődőnek a kis darabszám-igény miatt.

Jelentős gyártási tevékenységet csak olyan motortípusoktól remélnek, amelyek paramétereikkel tűnnek ki és számottevő darabszám miatt vagy más okból vannak előnyben. Ezek a következők:

a) A *6 LD 315 LNF* típusú 1000 Le-s motor, amely kis tüzelőanyag-fogyasztású (156 gr/Leóra) kis fajlagos súlyú és a terheléseket rugalmasan követő megoldás;

b) a *6 LD 315 S* típusú 650 Le-s típusú darumotorból nagyobb rendelés várható;

c) a *6 LD 200 RF* típusú  $230 \div 300$  Le-s motornak kicsiny a fogyasztása és kicsiny a fajlagos súlya. Az *LD 200* család alkalmazhatóságának kiterjesztésén dolgoznak és megtervezték a *3 LD 200*-as típust.

Fejlesztési feladatuk az *LD 200 S* családnál a paraméterek javítása céljából további kísérletek folytatása. Motorjaiknál csak feltöltéses kivitelben látnak értékesítési lehetőséget, mert a feltöltés nélkül a fajlagos súly és ár aligha piacképes.



## VII. Mezőgazdasági Diesel-motorok

A mezőgazdaság erőgépeinek (elsősorban a traktormotoroknak) a teljesítménye hosszú időn keresztül általában 50 Le alatt volt. Az utóbbi két évtizedben a traktorok teljesítménye jelentősen növekedett és jelenleg a  $30 \div 150$  Le intervallumban merül fel igény meghatározott teljesítménylépcsőkben ( $30, 45 \div 50, 70 \div 75, 90, 120 \div 150$  Le). A gyárak eddig igyekeztek a különféle teljesítményigényt a hengerszám és a fordulatszám változtatásával megoldani. A 100 Le-n felüli teljesítményeknél azonban szükségessé válik a hengerméret növelése, mert egyébként nagy hengerszám adódnék ki.

A motorok feltöltése turbótöltővel még viszonylag ritka és csak néhány 100 Le-n felüli teljesítményű motornál található. Ez azzal magyarázható, hogy a megbízhatóság és a hosszú élettartam fontos követelmény, a kis fajlagos súly azonban nem annyira jelentős. A mezőgazdaság, amennyire az lehetséges, az egyszerűbb megoldásokat szereti. A jövőben a feltöltés valószínűleg itt is tért fog hódítani, és pedig vagy a jelenlegi szokásos alkalmazási módszerrel, vagy bizonyos fordulatszám-intervallumban állandó teljesítményű karakterisztika biztosításával. Ez utóbbi esetben a traktor az „ideális gőzgép” nyomatéki karakterisztikájával rendelkezne.

A traktormotorok üzemi viszonyai lényegesen eltérnek a jármű motorok üzemi viszonyaitól. Az üzem főbb jellegzetességei a következők: a nagy ( $70 \div 90\%$ -os) közepes terhelés, a váltakozó jellegű terhelés, a poros üzem és a szélsőséges időjárási feltételek. E nehéz feltételek ellenére a motornak legalább 2000 üzemórát kell nagyjavítás nélkül dolgoznia és teljesítménye nem csökkenhet ez idő alatt lényegesen. A váltakozó jellegű terhelés hatására a motor-teljesítmény észrevehetően nem csökkenhet, aminek az a feltétele, hogy a terhelésingadozást követő fordulatszám-ingadozás kicsiny legyen és lehetőleg a regulátor érzéketlenségi zónáján belül maradjon.

A terhelés hirtelen, lépcsős növelésekor (pl. a traktoros gépcsoport indítása esetén) a motor instacionárius üzemben dolgozik és ilyenkor nyomatéki karakterisztikája nem egyezik meg a stacionárius (fékpadon felvett) karakterisztikával. Az eltérés annál nagyobb, minél nagyobb a regulátor érzéketlenségi foka, és minél kisebb a motor össztehetetlenségi nyomatéka. A motor üzemvitelére a rugalmassági tényező is lényeges hatással van, és értéke 1,1-nél kisebb ne legyen. A maximális nyomaték helye a névleges nyomaték helyétől minél messzebb legyen.

A mai korszerű traktorok Diesel-motorjainak *lített* teljesítménye  $12 \div 14$  Le/liter, a *névleges* percenkénti fordulatszáma  $1700 \div 2000$ , a *fajlagos motorsúlya*  $10 \div 14$  kg/Le, a *közepes dugattyúsebessége*  $7,5 \div 8,5$  m/sec.

Hazánkban traktormotor céljaira a Csepel Autógyár két-, négy- és hat-hengeres Diesel-motorjait alkalmazzák 28, ill. 35, 55 és 90 Le teljesítménnyel. E motorok a traktorüzem szempontjából nem tekinthetők korszerűnek. A vál-

takozó jellegű terhelésre rosszul reagálnak és sok esetben a közepes terhelésük 80%-nál nagyobb nem lehet. Az üzemi megfigyelések arra mutatnak, hogy a dinamikus nyomatéki karakterisztika is kedvezőtlen. Élettartam-problémák is gyakran jelentkeznek.

A jelentkező teljesítményigényeket e motorokkal elvileg is nehéz ki-elégíteni a viszonylag kis furatméret következtében. A korszerű igények alapján a két-, négy- és hathengeres motorokkal 40, 80 és 120 Le-t kellene tartósan kifejteni, amihez  $120 \div 125$  mm-es furatra van szükség.

A korszerű traktormotor kifejlesztése területén nálunk igen nagy lemaradás tapasztalható és érdemleges kutatás sem folyik. A *Csepel Autógyárnak* a traktormotorok gyártása nem főprofilja és a célirányos fejlesztéshez nincs is kapacitása. Azonban a követelmények pontos megfogalmazása a felhasználó részéről is hiányos. A legfontosabb feladat volna eldönteni a megoldás gazdasági lehetőségeit (licencia-vásárlás vagy szovjet kooperációban a motorok vásárlása). Egyúttal valamelyik intézmény keretében lehetővé kellene tenni — ha szerényebb keretek között is — bizonyos elvi jelentőségű kutatások végzését, amelyek elősegítenék korszerűbb traktormotorok gyártását és felhasználását.

### VIII. A motorkerékpár-motorok

Motorkerékpár-motorok céljára mind két-, mind négyütemű benzin-motorokat alkalmaznak, szinte kivétel nélkül, léghűtéssel. E motorok hengerűrtartalma zömében  $50 \div 350$  cm<sup>3</sup> között változik.  $500 \div 600$  cm<sup>3</sup>-es motort viszonylag kevés cég gyárt, kis darabszámban.

A motorok fajlagos teljesítménye az utóbbi évtizedben jelentősen megnövekedett, elsősorban a fordulatszám emelkedése következtében. A beömlő és kiömlő keresztmetszetek növelésével a legnagyobb nyomaték helyét a mind nagyobb fordulatszámok tartományába tolták el és ezzel a teljesítmény lényegesen növelhető volt. A literteljesítmény korszerű motoroknál  $70 \div 80$  Le/liter, a fordulatszám pedig percenként  $6000 \div 7500$ .

A nagy fajlagos teljesítmény elsősorban termikus problémákat hoz magával. Minél nagyobb a teljesítmény, annál nehezebb a dugattyú, henger és hengerfej hőmérsékletét megfelelő szinten tartani, különösen szabad légáramú hűtésnél. A megoldás érdekében minél kisebb méretű hengereket igyekeznek készíteni és ezért a  $200$  cm<sup>3</sup>-nél nagyobb űrtartalmú motorok többnyire kéthengerek. Több cég ventillátoros kényszeráramlású hűtést is alkalmaz.

A kéthengeres kivétel az egyes hengerek azonos tüzelőanyagkeverékkel való ellátása területén vet fel elég sok kérdést. Problémát jelent az is, hogy az egyszerű karburátorral lehessen biztosítani a különféle üzemállapotnak megfelelő optimális keverési arányt, továbbá a keverési arányt mind a gazdaságosság növelése, mind a szénmonoxid-szennyezés csökkentése céljából a sztöchiometrikus összetétel felé eltolni.

Hazánkban motorkerékpár-motorokat a *Csepeli Motorkerékpárgyár* állít elő a 250 cm<sup>3</sup>-es kategóriában. A korábbi konstrukció egyhengeres, az újabb pedig kéthengeres, korszerű mutatókkal. A motorok teljesítmény-jellemzői a következők: a *T-5* és *P-10* típusú motoroknál a 68 × 68 mm furat-löketű egyhengeres motor teljesítménye 16 Le 5250 percnkénti fordulatszámmal, liter-teljesítménye 64 Le/liter; a *P-20* típusú motornál az 56 × 50 mm furat-löketű kéthengeres motor teljesítménye 20 ÷ 21 Le 7500 percnkénti fordulatszámmal, a literteljesítmény 80 Le/liter.

A motorkerékpár-ipar tudományos kutatási bázissal nem rendelkezik, a gyár végzi az új típusok kifejlesztéséhez feltétlen szükséges kutatásokat. Elvi jelentőségű kutatások gyakorlatilag nem folynak. Emiatt a fejlesztési munka időben kissé elhúzódik. Bizonyos előrehaladás várható egy folyamatban levő aspiránsi munka kapcsán. Mindezek ellenére a *Csepeli Motorkerékpárgyár* fejlesztési tevékenysége sikeresnek mondható, a motorok élettartama megfelelő. Az új kéthengeres motor mutatói világszínvonalon vannak és megfelelnek a korszerű követelményeknek.

#### **Report on the Present State of the Hungarian Research Activity in the Field of i.c. Engines.**

First a general survey is given concerning the main use of i.c. engines in Hungary, then a discussion follows on the overall problems of research and development by considering actual demands; summarizing the special task for a further development of Dieselmotors. After a review of the state and the results of domestic research and development-work, author draws a comparison between domestic and foreign issues in the field of Dieselmotors for both autocars and railwaycars; exception is made for ship-Diesels, concerning which only home-researchwork is discussed. Finally, the paper deals with the present situation of the use of Dieselmotors for agricultural purposes and for motorcycles.

**Bericht über die Lage der Forschungsarbeiten in Ungarn auf dem Gebiete der Verbrennungsmotore.** Nachdem vom Verfasser die wichtigeren Anwendungsgebiete der Verbrennungsmotore in Ungarn und die allgemeinen Aufgaben der Forschung und der Weiterentwicklung mit Rücksicht auf die bestehenden Ansprüche überblickt werden, folgt die Zusammenfassung der konkreten Aufgaben zur Weiterentwicklung von Dieselmotoren. Vorerst wird die derzeitige Lage der einheimischen Forschung und das Ergebnis dieser Tätigkeit beschrieben, um nachfolgend einen vergleichenden Überblick über die einheimische und ausländische Forschung betreffs Kraftwagendieselmotore und Eisenbahndieselmotore gesondert vorzuführen, wobei bezüglich der Schiffsdiesel nur die Lage der einheimischen Forschung erfaßt wird. Abschließend wird noch die einheimische Lage auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Dieselmotoren und der Motorfahräder besprochen.



## KÖNYVSZEMLE

### ZEMENT

TASCHENBUCH 1970/71

A kézikönyv 11. bővített kiadása 1970-ben jelent meg, 344 oldalon, számos szemléltető ábrával, diagrammal, táblázattal.

A kiadvány átdolgozását az utóbbi időben életbelépett szabványok módosító előírásai indokolják.

A kézikönyv öt fejezetet tartalmaz, az alábbi felosztásban:

*A. fejezet:* Cement és cementipar. Tartalmazza a cementek előállítását, szállítási és tárolási feltételeit, kötőanyagok anyagjellemzőit, minőségi kifogások okait, továbbá a cementtel kapcsolatos kutatás düsseldorfi központi intézetének eredményeit és az új DIN 1164 fontosabb előírásait. Az általános ismereteken túlmenően a fejezet értékes adatokat nyújt a betontechnológusnak a korszerű szállítási és tárolási lehetőségek tervezéséhez.

*B. fejezet:* A cement és a habarcs szerkezete és tulajdonsága. A normálbeton és könnyűbeton tervezésének szabályait, minőségi követelményeit, alapvető mechanikai tulajdonságait (zsugorodás, lassú alakváltozás, rugalmassági modulus, vízzárás, stb.), valamint a habarcsok tulajdonságait, alkalmazási szabályait tárgyalja. Figyelemre méltó a könnyűbeton alkalmazására vonatkozó gazdag adattár.

*C. fejezet:* A beton és vasbeton alkalmazása. Tartalmazza a betonfajták leírását, a betonok hőkezelésének módozatait, az optimális gőzölési ciklusok ábrázolását, a hőkezelt beton szilárdsági jellemzőit. Ugyancsak e fejezet ismerteti a torkrétbeton előállításának és felhordásának szabályait, tulajdonságait, a torkrétozás eszközeit és alkalmazási lehetőségeit (tömítés, takarás, javítás, alagútépítés, bányászat, vékony szerkezetek, stb.), valamint azok minősítését. Külön alpont tárgyalja az utak és kifizutópályák betonjának tervezését, előkészítését, építését és utókezelését.

*D. fejezet:* A fontosabb építési szabályok áttekintése, irányelvek.

*E. fejezet:* Táblázatok, tervezési segédletek. A kiadvány áttekintően összefoglalja a cementekkel és betonokkal kapcsolatos fontosabb tudnivalókat a tervező mérnök és betontechnológus számára.

A gazdag irodalmi hivatkozás lehetővé teszi az egyes témák alaposabb megismerését.

*Dr. Goschy Béla*

### PROCEEDINGS OF THE THIRD CONFERENCE ON DIMENSIONING AND STRENGTH CALCULATIONS

Akadémiai Kiadó, Budapest 1968. 778 oldal

A harmadik „Korszerű Méretezési Konferencia” során elhangzott előadások és hozzászólások gyűjteménye most könyv alakban jelent meg, mégpedig angol nyelven. A konferencia nemzetközi jellegét tanúsítja a külföldi előadók nagy száma. A terjedelmes kötet nemcsak a pompás tipográfiával és a jól sikerült ábrákkal tűnik ki, hanem a tartalom szakmai gazdagságával is. Nyolcvan szerző hatvan előadását tartalmazza e kötet. Az előadások témái kiterjednek a rideg törés, anyagkifáradástól függő élettartam, fáradt repedés, rendezetlenül változó igénybevétel, felkeményedés, hegesztés, lehűlés, nemlineáris feszültségváltozás és plaszticitás jelenségeire. A laboratóriumi anyagvizsgálók, a gyakorlati tervező mérnökök és az elméleti kutatók egyaránt találhatnak e kötetben érdekes és hasznos új eredményeket szakterületük köréből.

*Dr. Barta József*



S. Falk:

LEHRBUCH DER TECHNISCHEN MECHANIK  
ZWEITER BAND. MECHANIK DES STARREN KÖRPERS.

Springer Verlag, Berlin—Heidelberg—New York 1968, 486 oldal

E mű első kötetét lapunkban már ismertettük. Ez a most megjelent kötet a merev testek mechanikájából azt az anyagot tartalmazza, amely a műegyetemek gépész és építőmérnöki osztályain ma már világszerte meglehetősen egységesen kialakult. Tehát a merev testek statikáját, kinematikáját és kinetikáját öleli fel, mégpedig — a jobb érthetőség érdekében — először csak a síklapokra, azután a háromdimenziós merev testekre. A számos jól megírt fejezet közül kiemeljük a 14,1 és 25,1 szakaszokat, ahol a metszeti erők fogalma van szemléltetve. Didaktikailag igen sikerültek mindazon fejezetek, amelyekben a pörgettyű elmélete kerül bemutatásra. E „Tankönyv” címet viselő művet sikerrel használhatják mindazok, akik az anyagot az előadások hallgatásából vagy egyéb helyről már többé-kevésbé megértették. Azonban első tanulásra a könyv kissé nehéznek tűnik.

Dr. Barta József

H. Schlitt:

THEORIE GEREGETER SYSTEME

STOCHASTISCHE VORGÄNGE IN LINEAREN UND NICHTLINEAREN REGELKREISEN

Friedr. Vieweg et Sohn, Braunschweig, 1968; 324 oldal, 223 ábra

A statisztikus elemzés és méretezés a szabályozástechnikának egyik alapvető eljárásává vált az utóbbi években. A szóban forgó munka a lineáris és nemlineáris szabályozások sztochasztikus folyamataiba, továbbá a vele kapcsolatos statisztikus alapfogalmakba kíván bevezetést nyújtani.

Az ismertetendő munka húsz fejezetre oszlik. Az első tíz fejezet az állandó paraméterű lineáris rendszerekkel, a másik tíz fejezet pedig a nemlineáris rendszerek kvázilineáris tárgyalásával foglalkozik.

Az első fejezet a sztochasztikus folyamatok alapfogalmait mutatja be. A második fejezet az időbeli középérték meghatározásának, valamint a korreláció függvények meghatározásának elvi módszereit tárgyalja. A harmadik fejezetben a spektrum függvények alapfogalmait találhatók meg. A negyedik fejezet a sztochasztikus folyamatok frekvencia tartománybeli leírásával foglalkozik. Az ötödik fejezet a teljesítménysűrűség spektrumokat ismerteti. A hatodik fejezetben néhány különleges korrelációs eljárás található meg. A hetedik fejezet a lineáris rendszerek alapfogalmait foglalja össze. A nyolcadik fejezet a sztochasztikus jelek rendszerelméletét tárgyalja. A kilencedik fejezetben a sztochasztikus jelek osztályozása található meg. A tizedik fejezet a zajszűrővel foglalkozik.

A tizenegyedik fejezet a nemlineáris rendszerek szinusz jelekre vonatkozó viselkedését, a leíró függvényeket tárgyalja. A tizenkettedik fejezetben néhány jellegzetes nemlinearitás leíró függvénye szerepel. A tizenharmadik fejezet a nemlineáris rendszer viselkedését tárgyalja stacionárius sztochasztikus jelekre vonatkozólag. A tizennegyedik fejezet néhány jellegzetes nemlinearitás statisztikus leírófüggvényét mutatja be. A tizenötödik fejezetben egy általánosabb közelítő eljárás ismertetésére kerül sor. A tizenhatodik fejezetben optimális lineáris helyettesítő rendszerekről van szó. A tizenhetedik fejezet a nemlineáris függvény sorbafejtésével, valamint a korreláció függvény és a teljesítmény sűrűség spektrum kapcsolatával foglalkozik. A tizennyolcadik fejezet az egyetlen statisztikus nemlinearitást tartalmazó zárt szabályozási rendszert tárgyalja. A következő tizenkilencedik fejezet pedig példákat mutat be. Végül a huszadik fejezet a nemlineáris rendszerek néhány sajátosságával, elsősorban a többértékű rezonancia jellegzőbék létrejöttével foglalkozik.

A könyvhöz bő irodalomjegyzék csatlakozik, amely összesen 82 könyvet és folyóirat cikket sorol fel.

A könyv használatát tartalomjegyzék, valamint tárgymutató könnyíti meg. A könyv igen jó bevezetést nyújt a szabályozási rendszerek statisztikus elemzésének és méretezésének megismeréséhez és a legfontosabb eljárások elsajátításához. Az anyag megismerését bőséges ábra mennyiség és világos fogalmazás könnyíti meg. Bár egy-egy kérdéssel foglalkozó szakmunkák esetleg mélyebbre hatolnak, a könyv nagy előnye, hogy átfogó képet nyújt a tárgyalat témaköréről.

Dr. Csáki Frigyes

*P. E. Irving:*

## TWO-STROKE POWER UNITS. THEIR DESIGN AND APPLICATION.

Hart Publishing Company, New York City 1968, 280 oldal, 173 ábra

A könyv 15 fejezetben részletesen foglalkozik a különféle célokra alkalmazott könnyű kétütemű motorok (motorkerékpár-, gépkocsi-, csónak- és ipari motorok) konstrukciós kialakításaival, feltüntetve egyes típusok és szerkezeti megoldások történelmi fejlődését is. A gondosan összeválogatott ábraanyag bemutatja a legkorszerűbb kétütemű motorokat, több esetben azok teljesítmény jelleggörbéit is. A szerző érdekes összehasonlítást tesz az európai, amerikai és japán motorok között, kiemelve az egyes megoldások előnyeit. Részletesen ismerteti a kelet-európai államok legjobb konstrukcióit is (Jawa, CZ, MZ, Wartburg). Külön értéke a könyvnek, hogy részletesen tárgyalja a versenymotorok szerkezeti megoldásait, a motorok teljesítmény-jellemzőit és a széria motorok versenyre való előkészítését (tuning) is. Itt sok olyan adatot olvashatunk, amelyeket a gyárak csak ritkán közölnek.

A könyv elméleti kérdésekkel nem foglalkozik, elsősorban a gyakorlatban dolgozó konstruktörhöz szól és ad hasznos útmutatásokat.

Az I. fejezet a különféle öblítési rendszereket ismerteti a történelmi fejlődés sorrendjében.

A II. fejezetben a szerző részletesen tárgyalja a részek alakjának, elhelyezésének és méreteinek problémáit. Rámutat az áramlástanilag is helyes részkiképzés fontosságára. Ismerteti a versenymotoroknál szokásos forgószелеpes és forgótárcsás megoldásokat, amelyekkel 10 000 f/min feletti fordulatszámokat is el lehet érni.

A III. fejezet azon tervezést befolyásoló tényezőket elemzi, amelyeket a tervezésnél figyelembe kell venni. Itt szól a kiegyensúlyozás, a furat-löket viszony, a kompresszióviszony, az égéstér alakjának problémáiról, a felhasználható szerkezeti anyagokról és a szerkesztés általános alapelveiről.

A IV. fejezet a henger, dugattyú, dugattyúgyűrű szerkesztési alapelveit tárgyalja és számos ábrával illusztrálja a jellegzetes, jól bevált megoldásokat.

A forgattyús tengelyt és a hajtórudat az V. fejezet írja le. Részletesen tárgyalja a csapágyazás problémáit.

A VI. fejezet a kipufogórendszerrel foglalkozik, ideértve a hangtompítót is. Rámutat a kipufogórendszer helyes kialakításának fontosságára az elérhető teljesítmény szempontjából.

A VII. fejezetben a szerző a motorok kenéséről és a kenőolajjal szemben támasztott követelményekről beszél.

A hűtés konstrukciós megoldásairól és problémáiról a VIII. fejezetben olvashatunk. Külön tárgyalja a versenymotorok hűtési problémáit.

A IX. fejezet a karburátorok típusait írja le. Részletesen szól a karburátor torokméretének megválasztásáról és a szívócső hosszáról.

A X. fejezetben a gyújtás és indítás kerül tárgyalásra.

A XI. fejezet a járműmotorokat ismerteti, ezen belül a moped, motorkerékpár és autó motorokat. A fejezetben közölt 28 ábra gazdagon illusztrálja a mai korszerű motorokat, közöttük a híres japán motorkerékpár-motorokat is.

A XII. fejezetben a szerző a versenymotorokról ad jó áttekintést, amelyek közül némelyik eléri a 320 Le/liter fajlagos teljesítményt.

A XIII. fejezet az ipar különböző területein használatos kisebb kétütemű motorokkal foglalkozik és jellegzetes amerikai és európai típusokat mutat be.

A XIV. fejezet motorcsónakok hajtására szolgáló kétütemű motorokat ír le, különösen szép metszet-ábrákkal illusztrálva.

A XV. fejezet a széria motorok versenyre való előkészítésével (tuning) foglalkozik, részletesen ismertette az egyes alkatrészeknél szükséges módosításokat.

A szöveget irodalomjegyzék és tárgymutató egészíti ki.

A könyvet a kétütemű motorokkal foglalkozó szerkesztők és oktatók hasznosan felhasználhatják. Különösen a motorkerékpár-motorokkal foglalkozó szerkesztők kapnak sok értékes gyakorlati útmutatást.

*Dr. Sütkei György*

G. Broersma:

# APPLIED MECHANICS OF MACHINE ELEMENTS IN ADVANCED USE

H. Stam International N. V., Culemborg, (Netherlands) 1967; 182 oldal, 88 ábra, 38 szövegtáblázat

A kitűnő kiállítású könyv az alkalmazott mechanika egyes kiragadott fejezeteit ismerteti tíz részben.

Az 1. rész a repülőgépek futóműveinek gumiabroncs-deformációja által felemésztett energia számításával foglalkozik; a 2. rész a szegecselt könnyűfém-szerkezetek és a szegecs-kötések részletes számítását; a 3. rész az anyag kristályszerkezetébe történt diffúzió által előidézett belső feszültségek számítását mutatja be. Ennek gyakorlati jelentősége pl. az acél cementálásakor van, mert az anyag kifáradási szilárdságát befolyásolja. A 4. rész dugattyúgyűrűkkel végzett kísérletek eredményeit ismerteti és hozza azokat összhangba a gyűrűk szilárdsági méretezésével. Az 5. rész repülőgépmotorok dugattyúinak, a 6. rész pedig a hengerperselyeknek meghibásodásaival és az üzemkötésben keletkezett feszültségek részletes analízisével foglalkozik, különböző előfeltételek fennforgása esetén. A könyv legrészletesebben kidolgozott 7. része léghűtéses, nagy fordulatszámú repülőgépmotorok dugattyúinak és hengereinek üzem közben ébredő hőterhelését tárgyalja, először stacionárius hőáramlás esetére; külön foglalkozik a dugattyúfenéssel, a dugattyúpaláttal és a kettő átmenetével. A léghűtéses hengerfal hőfeszültségeinek részletes analízise után kitér a könnyűfém hengerfejekben ébredő feszültségekre is. Ezután még a szakkönyvekben is szokatlanul mélyreható elméleti vizsgálatnak veti alá a hőmérsékletek periodikus változásának a hőfeszültségekre való befolyását, aminek során a különböző irányú feszültségeket és deformációkat elemzi, figyelembe véve pl. a dugattyú hűtőbordáinak hatását is a keletkező feszültségekre. A 8. rész a gépészetben használt öntvényekkel szemben támasztott követelményekkel foglalkozik, főként a motorgyártásból vett néhány gyakorlati példa kapcsán: a dugattyúgyűrűk, könnyűfém hengerfejek és dugattyúk, valamint a hengerperselyek szilárdsági viszonyaival, továbbá azzal, hogy az öntöttvas keréktестeket mennyire veszi igénybe a zsugorkötéssel ráillesztett koszorú szorítóhatása. A 9. rész a hajóépítésben használt fogazott tengelykapcsoló igénybevételét tárgyalja, a kapcsolt tengelyek szögterhelésének, az igénybevételek ingadozásainak és a fogak domborítása által előidézett feszültségkoncentrációnak figyelembe vételével. Ennek kapcsán kitér a fogak betétedzésének hatására is. Végül a 10. rész azzal foglalkozik, hogy a vibrációkat miként lehet csökkenteni a gépszerkezetek tervezésekor, pl. tengelyen alkalmazott hengeres rugalmas diafragmákkal, illetve hogy a fogaskerekek zajkeltését mennyire befolyásolja a felületedzés és a nitrálás.

Összefoglalva megállapítható, hogy az angol nyelvű könyv az alkalmazott mechanikából csupán szemelvényeket ad, mindazonáltal az általa tárgyalt néhány részletet újszerű módon, nagy alaposággal, magasfokú matematikai apparátussal és világos fogalmazással tárgyalja. A tíz rész mindegyike téma és tárgyalási mód tekintetében külön egészet képez. és független a könyv többi részétől.

Erney György

G. Broersma:

# COUPLINGS AND BEARINGS

H. Stam International N. V., Culemborg (Netherlands) 1968; 120 oldal, 138 ábra, 38 szövegtáblázat

A könyv első része néhány korszerű tengelykapcsolót ismertet. Bevezetőben részletesen leírja a Malmédy-Bibby-kapcsoló rugószámításának menetét, majd röviden a Forst-kapcsolót. Ezután kétféle Bibby-kapcsolótípus mérettáblázatait közli, majd röviden ismerteti a gyűrűs rugós és laprugós rugalmas kapcsolókat, az elektromágneses működtetésű soklamellás kapcsolót, a Holset- és Periflex-kapcsolót, az utóbbinak részletes számításával és alkalmazásának szempontjaival. Ezután következik az indukciós kapcsolók és a mágneses szemcsés súrlódó kapcsolók rövid leírása, majd a könyv legértékesebb részlete: a hidrodinamikus kapcsoló részletes analízise, annak egyik jellemző alkalmazási esetével a hajóhajtásban. A Vulkan-kapcsoló és néhány kevésbé ismert tengelykapcsolótípus után részletesebben ismerteti a szinkronizáló SSS-típusú fogazott kapcsoló működési elvét, és ezt követően az evolvensprofilú bordás-tengelykötés számítását. Az első rész a tengelykapcsolóval történő reverzálás számításával zárul.

A lényegesen rövidebb második rész a hajóépítésben használt gördülőcsapágyak kiválasztásának ismertetésével kezdődik, utána a siklócsapágyak számítását írja le a hidrodinamikai kenélmélet alapján, majd röviden foglalkozik néhány olaj- és vízkenésű csapágykivitellel, végül pár kenéstechnikai kérdéssel.

A könyv a tengelykapcsolók és csapágyak ismertetését oly mértékben tartalmazza, amennyiben azok a hajóépítésben használatosak. Az alkalmazási példák (szinkronizálás, reverzálás) is a hajóépítésből vannak véve. Néhány részlete nálunk is újszerű, különösen az alkalmazási esetek tárgyalása. Az ismertetett számítások az idevonatkozó hazai szakirodalom hasonló részeihez képest mégis kissé szegényesen hatnak. Feltűnően rövid a csapágyak, különösen a gördülőcsapágyak tárgyalása. Előnyös ezzel szemben a gyakorlati tapasztalatok felsorolása, ami jó kritikai érzékről tanúskodik.

A könyv kiállítása a legmagasabb igényeket kielégíti. Ábraanyaga igen szép és világos.

*Erney György*

*G. Broersma:*

## DESIGN OF GEARS

H. Stam International N. V., Culemborg (Netherlands) 1967, 194 oldal, 143 ábra, 65 szövegközi táblázat

A hajók redukciós hajtóműveinek és az azokba tartozó fogaskerekek tervezésével foglalkozó könyv 4 részből áll.

Az 1. rész különböző gyártmányú hajóhajtóművek konstruktív kialakítását és néhány jellemző adatát ismerteti.

A 2. rész a hajóhajtóművek fogaskerekeinek méretezésére és anyagválasztására a legismertebb átvető szervek (hatóságok) által készített alapvető előírásokat tárgyalja, majd a tengelyeskeretek terhelés alatti deformációjának a teherbírással való befolyását elemzi. Különösen részletes előírásokat ad a Bureau Véritas legújabb, 1965. évi, valamint a Germanischer Lloyd 1956. és 1959. évi ide vonatkozó új kiadványa, amelyeket a könyv teljes részletességgel ismertet.

A könyv terjedelmének csaknem a felét kitevő 3. rész mélyrehatóan elemzi a hajóhajtóművek fogaskerekeiben ébredő feszültségeket és deformációkat: a zsgorkötés következtében a nagykeretek fogazott koszorúiban és fogaskerék-testeiben üzem közben ébredő feszültségeket különböző elrendezések esetében, majd a betétedzett és köszörült kiskeretek teherbírását a hőkezelés módjától függően. Ezután a fogakban keletkező feszültségeknek az egyes átvető hatóságok előírásai szerinti számításával és a dinamikus igénybevételekkel foglalkozik; ezt követően teljes részletességgel tárgyalja a fogaskerekek hőterhelésének, melegeedésének problémáját, végül kitér a fogaskerekek súlykalkulációjára és a hajóhajtásokban keletkező torziós lengések számítására.

A befejező 4. rész a fogaskerekek anyagával foglalkozik: az anyagok összetételével, az előforduló anyaghibákkal, a betétedzett fogak szilárdságával és edzett kéregvastagságával.

Összefoglalva mondható, hogy a könyv túlnyomórésztben a hajóhajtóművek fogaskerekeit tárgyalja, de sok része más fogaskerék-hajtások tervezésénél is jól használható. Fogalmazása világos, gondolatmenete jól követhető. Kiállítása elsőrangú.

*Erney György*

*G. T. Bryan:*

## CONTROL SYSTEMS FOR TECHNICIANS

Hart Publishing Company, Inc. New York City 1969

Az automatizálás könyvtárakat kitöltő irodalmában egyre nagyobb a jelentőségük a tudományterület ismeretanyagának alapjait szemléltetően tárgyaló, leíró jellegű, ugyanakkor széles tématerületet átfogó és a tárgyi részt több nézőpontból is bemutató könyveknek. Indokolja ezt az automatizálás mind gyorsabb ütemű elterjedése, amivel együtt növekszik a különböző automatika-elemek szerelő, üzemeltető és karbantartó, megfelelően képzett, s az újdonságok területén is jól tájékozott technikusok iránti igény.

BRYAN e könyve az önműködő szabályozások legfontosabb elemeinek és az azokból épített leggyakoribb rendszereknek alapfokú összefoglalását adja, az Angliában elterjedt szabályozási köri elemekre alapozva. A 12 fejezetre osztott mű bevezetésében a szabályozás alapvető ismérvével, a visszacsatolással, az irányítási rendszer zárt hatásláncával foglalkozik. Az önműködő szabályozók elemei közül elsőnek a leggyakoribb érzékelőket ismerteti — különös tekintettel a villamos elvűekre. Bemutatja a villamos, pneumatikus és hidraulikus erősítők alaptípusait (először önmagukban, majd a szokásos visszacsatolásokkal). Jelentőségüknek megfelelően súlyozva tárgyalja előbb a pneumatikus, később a többi segédenergiával működteztet végrehajtó szerveket és helyzetbeállítókat, valamint az azokkal befolyásolt beavatkozó szerveket (szelepeket, csappantyúkat). Itt kitér a korszerű szelepméretezésre, a  $c_p$  tényező használatára.

A nagy kiterjedésű üzemek központi irányításához a különböző szabályozó és vezérlő berendezések jeleit sokszor nagyobb távolságra is továbbítani kell. A jelátvitel céljára alkalmas távadós rendszerek rövid összehasonlítása után a szerző bemutat néhány jelentősebb megoldást, mind a folytonos, mind az impulzus jelek átvitelére.

Az önműködő szabályozások legfontosabb elemeinek ismertetése után, a könyv második része rendszertechnikai kérdésekkel foglalkozik. A legegyszerűbb szervomechanizmusok kapcsán bemutatja a szabályozási kör jellegzetes idő- és frekvenciafüggvényeit, valamint azok felvételének módját. A sebességszabályozó rendszerekkel kapcsolatban a szabályozott Ward—Leonard-féle gépcsoport példáján elemzi a rendszer pontosságát, stabilitását és a szabályozás jóságát, kitér a járulékos stabilizáló áramkörökre, majd összefoglalja az egyenáramú hajtások főbb erősítőit.

A folyamatszabályozások területén a könyv előbb a szabályozott szakaszok tulajdonságait elemzi és ehhez csatlakozva bemutatja a szabványos állásos és folytonos szabályozásokat, majd különböző pneumatikus, villamos, elektropneumatikus és hidraulikus szabályozókat ismerteti, végül megadja a folytonos szabályozókon beállítható paraméterek (erősítés, integrálási és differenciálási idő) ajánlott értékeit. Kiegészítésül e részhez néhány példát közöl a többparaméteres és többhurokos szabályozási rendszerekre.

A fejlődés tendenciája az irányítási algoritmusok komplexitásának növekedése. Ma már mind gyakoribb a szabályozás és vezérlés párosulása, az analóg és digitális számítógép belépése az irányítási rendszerbe. Mintegy betekintésül e területre, a könyv röviden kitér a digitális számítógép általános felépítésére és működésére, a logikai alapáramkörökre és a Boole-féle algebrára, az analóg számítógépekre, az analóg-digitális jelátalakításra, valamint a számítógépes folyamatlemezés és folyamat-irányítás néhány alapelveire.

A gyártástechnológiában nagy jelentőségű a szerszámgép szabályozás és vezérlés. A könyv utolsó fejezete erre — a számítógép technikával együtt fejlődő — területre enged bepillantást, kezdve a legegyszerűbb másoló szerszámgépektől a legkorszerűbb numerikus vezérlésű gépegységekig.

A könyv anyagát függelék és terminológiai szógyűjtemény egészíti ki. A függelékben a műszerezési tervjelképek, a leggyakoribb elemek átviteli és frekvenciafüggvényei, az exponenciális átmeneti függvények szerkesztésének szabályai, valamint közhasznú táblázatok találhatók.

Az egyes fejezetek végén a szerző odavonatkozó példákat közöl. Ezek megoldása a könyv végén fellelhető.

A szerző azon célkitűzése, hogy technikusoknak és tanulóknak a szabályozástechnika alapfokú összefoglalását adja — a terjedelem szabta korlátokon belül — e munkában megvalósultnak tekinthető. A gondosan szerkesztett ábraanyag, valamint az érett didaktikai felépítés a könyvet jól áttekinthetővé és a szabályozástechnika alapjai iránt érdeklődők számára hasznos ismeretforrássá teszi.

Dr. Helm László

Kézdí Árpád—Markó Iván:

ERDBAUTEN

Akadémiai Kiadó és a Werner Verlag Düsseldorf közös kiadványa 1969. 403 oldal

A német nyelven megjelent munka tulajdonképpen a Szerzők korábban magyar nyelven megjelent: „Földművek védelme és víztelenítése” című művének, továbbá KÉZDÍ ÁRPÁD—PÓCZI MIHÁLY: „Földművek” c. könyveinek összefoglaló és kiforrott tematikájú német nyelvű kiadása. A könyv az alábbi 11 fejezetre oszlik:



1. A talajviszonyok felderítése (KÉZDI Á.),
2. Rézsűk állékonysága (KÉZDI Á.),
3. Töltések alapozása (KÉZDI Á.),
4. Földnyomás. Támfalak (KÉZDI Á.),
5. Felszíni víztelenítés (MARKÓ I.),
6. Földműpartok biztosítása (MARKÓ I.),
7. Kis vízfolyások szabályozása (MARKÓ I.),
8. Az altalaj víztelenítése. Talajvízszintsüllesztés (KÉZDI Á. és MARKÓ I.);
9. Víztartás és talajvízszintsüllesztés (KÉZDI Á. és MARKÓ I.);
10. Közlekedési utak víztelenítése (MARKÓ I.);
11. Tereprendevezések víztelenítése (MARKÓ I.).

A könyv célja — mint bevezetésében a Szerzők maguk is mondják — nem a kérdések elméletének tárgyalása, hanem azok megoldásának a gyakorlati mérnök részére eljárások és példák ismertetése útján való megkönnyítése. A cél elérése érdekében a könyv csak kiforrott és a gyakorlatban bevált eljárásokat, megoldásokat ismertet és terjedelmes ábra- és képanya-  
got ad.

Megállapítható, hogy a könyv kitűzött céljának igen jól megfelel. Jól megválasztott képanyaga, a lényegyet kidomborító és konkrét megoldásokat nyújtó szemléltető ábrái, valamint eredeti technikájuknál fogva a figyelmet jól lekötő vázlatai nagyon jól illusztrálják a szöveget. Külön említést érdemel a könyv magyar kiadásánál már jól bevált ábrázolási mód, amely a fekete alapszínű ábrákat fedő külön átlátszó papíron feltűnő színnel mutatja a szükséges munkák tervét, illetőleg azok várható eredményét.

Az egyes fejezetekben a kitűzött célnak megfelelően a gyakorlati és illusztrációs elem dominál. A szükséges tervezési és építési tennivalók rövid és lényegbevágó felsorolás útján kerülnek ismertetésre. Mindamelllett a lényegyet érintő tényezők és összehasonlítások nem maradnak ki.

Az egyes fejezeteken végigmenve a következők állapíthatók meg:

ad 1. A talajviszonyok felderítése c. fejezet az eljárások és eszközök ismertetése nélkül csupán azoknak a különféle földművek tervezésénél való felhasználási lehetőségeire mutat rá a megadott célok tisztázása érdekében. Megadja a célszerű sorrendet és táblázatokba foglalja az egyszerű helyszíni azonosítási kísérleteket.

ad 2--3. A rézsűstabilitással foglalkozó 2. fejezet a legújabb elméletek alapján összeállított táblázatok segítségével és gyakorlati elvek ismertetésével megadja a rézsűk tervezési elveit és a különféle talajnemekre vonatkozó gyakorlati szabályokat. Összehasonlító példák kapcsán rámutat a tervezés és kivitel hibáira, valamint azok kijavítási lehetőségeire. A kérdést különböző talajnemekre és rétegzettségre kiterjedően tárgyalja. Talán hiányolni lehet, hogy a töltésrézsűkkel foglalkozó rész (pl. töltéspadkák) aránylag rövid. A töltések alapozásával foglalkozó 3. fejezet elsősorban a töltések süllyedése és a töltések alatti talajtörés szempontjából foglalkozik a kérdéssel.

ad 4. Logikusan csatlakozik az előzőkhöz a támfalakkal foglalkozó következő fejezet, amely a ható erőktől kezdve a tervezés összes lehetőségein rendkívül szemléltetően mutatja be a különféle támfálszelvények hatékonyságát és az előregyártott elemekből készített legújabb bordás-, ívbetétes és máglyafalakat. Kiterjed a fejezet a lehorgonyzott és hátrahorgonyzott típusok elvének bemutatására, valamint a csatlakozási hézagok, háttöltés és víztelenítés kérdéseire is.

ad 5. Ez a fejezet, amely a térszíni víztelenítéssel, illetve vízelvezetéssel foglalkozik, relatíve bővebb az előzőknél. Mindenekelőtt igen részletesen adja a felszínen lefolyásra kerülő vízmennyiségek számítására vonatkozó elméleteket és a felszíni vízfolyások kialakulási körülményeit. Ugyancsak részletes a felszínről nyitott földművek víztelenítéséhez szükséges nyílt csatornák és folyókák hidraulikájával és tervezésével foglalkozó fejezet. Az építésre térve a csatornaburkolatokról kapunk anyagfelhasználásra is kiterjedő részletességű megoldásokat, és összehasonlításokat, gyakorlati példákkal bőven illusztrálva.

ad 6. Ez a fejezet az árvédelmi töltések és partvédművek szerkezeti és kiviteli kérdéseit ismerteti és külön foglalkozik a szovjet partvédművekkel, töltéslezáró kúpokkal, hullámvédő művekkel is.

ad 7. Külön fejezetet szentel a könyv a kisebb vízfolyások szabályozásának. A kérdés a hazánkban előforduló erózióknak kitett területek védelme szempontjából fontos, de ez a fejezet is részletesebbnek tűnik a 2--4. fejezetekhez képest.

ad 8. Az altalaj víztelenítésével foglalkozó ezen fejezet igen jól kiegyensúlyozott része a könyvnek. A mechanikai jelenségek rövid összefoglalása után a szivárgóárkok gyakorlati szabályait, majd hidraulikus számításait adja, továbbá a gyakorlati tervezés, alkalmazás és kivitel szabályait konkrét megoldások kapcsán ismerteti, de foglalkozik a fenntartás fontos kérdéseivel is. Víztelenítőtárak, szűrőpaplanok is ismertetésre kerülnek.

ad 9. A nyíltvíztartással és talajvízszintsüllyesztéssel foglalkozó fejezet már a földművek (bevágások) víztelenítésén kívül a munkagödörök víztelenítésének területét is tárgyalja mind elméleti, mind gyakorlati vonatkozásban.

ad 10. A közlekedési pályák víztelenítésével foglalkozó fejezet a közúti és vasúti pályatestek szegélyárkainak tervezését és szerkezeti kiképzését, a megengedhető eséseket, a beiktandó csillapítókat és bukólépcsőket ismerteti részletes méretezési grafikonok kíséretében. Külön fejezet foglalkozik az autótutak és a beépített települések útjainak víztelenítésével, vízyelőkkel és aknákkal, pályaudvarok és repülőterek víztelenítési rendszerével és minden egyes részletre kiterjedő megoldásokat ad.

ad 11. Végül az utolsó fejezet a tereprendezeésekkel kapcsolatos víztelenítési feladatokat tárgyalja, s ezen belül a szerkezeti megoldásokon kívül az emésztőcsatornák és átereszek hidraulikus méretezésére is kitér.

Amint a fentiekből látható, a könyv a földmunkák állékonyságának és az azzal kapcsolatos víztelenítési kérdéseknek mindegyik feladatát a gyakorló tervező és építőmérnök szempontjából kimerítően és összefoglalóan ismerteti és így annak mindennapi munkájában valóban nélkülözhetetlen segítője.

*Dr. Széchy Károly*

*Verő József:*

## FÉMTAN

Tankönyvkiadó, Budapest 1969; 547 oldal, 478 ábra, 65 táblázat

A könyv 12 fejezeten át megismerteti az olvasóval a történeti áttekintéstől kezdve a fémek és az ötvözetek szerkezetén keresztül azok mechanikai, termikus, elektromos, mágneses akusztikus és optikai tulajdonságait, a fémek és a gázok kölcsönhatásait, majd a kémiai tulajdonságokkal kapcsolatban a fémek korrózióját.

A könyv tárgyalási módja nagyrészt leíró jellegű, de a legfontosabb jelenségek és tulajdonságok ismertetésekor matematikai összefüggésekre és levezetésekre is támaszkodik a szemléletesebb és alaposabb megértés érdekében. Mind a leíró, mind a számításokkal alátámasztott részeknél korszerű fémfizikai elméletekkel indokolja a szerző a tulajdonságok okát és a folyamatok kinetikáját. Ebben természetesen találunk termodinamikai érveket (kristályosodás és diffúzió), kvantummechanikai megállapításokat (elektromos tulajdonságok) és a rácshibákon alapuló indokolásokat (mechanikai tulajdonságok és újrakristályosodás). Ennek révén a szerző ezt a korábban csaknem teljesen lexikális ismeretanyagot logikusan értelmezett, természettudományosan megalapozott szemlélettel támasztja alá, mely áttekintést és segítséget nyújt a fémek és ötvözetek nagyon bonyolult termodinamikai rendszereiben lezajló változások irányainak a kijelöléséhez és azoknak a paramétereknek megbecsléséhez, melyek a megváltozott tulajdonságokat jellemzik.

A különböző fejezetekben logikus egymásutánban megismerkedhetik az olvasó a fémek és ötvözetek legfontosabb tulajdonságaival és a bennük végbemenő folyamatok lényegével. A könnyebb elsajátítást számos gyakorlati példa segíti.

A könyv legsikeresebb eredménye az, hogy az olvasóban olyan természettudományos szemléletet alakít ki, mely a szakterületen biztos eligazítást ad a fejlesztési feladatok, tehát a valódi mérnöki feladatok megoldásához, szemben a lexikális ismeretanyaggal, mely legjobb esetben is csak reprodukáláshoz elég. Emellett azonban nagyra kell értékelni az ismertetésre kerülő anyag nagyon jól kiválasztott logikus folyamatosságát is. Sajnálatosnak tartjuk viszont, hogy ezt a nagymennyiségű anyagot viszonylag szűk terjedelemben kellett összefoglalni. Ennek tudható be az, hogy a röntgen szerkezet vizsgálatoknak a kellenél kevesebb oldal-szám jutott.

Külön említést érdemel a szerző gondosan megválogatott mondat szerkesztése, magyaros stílusa és az ebből eredő könnyű értelmezhetőség. Műszaki dolgozatok íróinak ebben is példát mutat. A szöveg közt található vonalas ábrák jól áttekinthetők és szervesen illeszkednek a tárgyaláshoz. A mikroszkópi képek túlnyomó többsége a laboratóriumi munkát dicséri, de ezek között néhány gyengébb minőségű is akad.

A könyvet a szerző az 1952–56-ban megjelent „Általános metallográfia” c. munkájának átdolgozásával elsősorban a Nehézipari Műszaki Egyetem kohász hallgatói számára írta, hogy legfontosabb szakmai alapozótárgyuk, a Fémtan elsajátításához, az előadott anyagon túlmenő, megfelelő színvonalú ismeretszerzést is lehetővé tegye. Ebből egyébként az előszóban is említett tényből következik, hogy a könyvet nemcsak a hallgatók, hanem az iparban és a kutatóintézetekben dolgozó szakemberek is eredményesen használhatják ismereteik kiegészítésére.

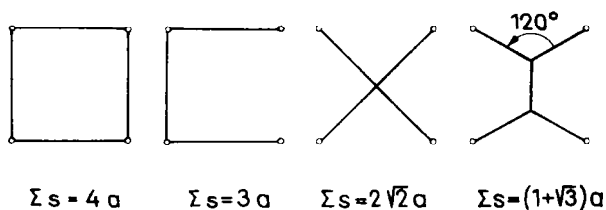
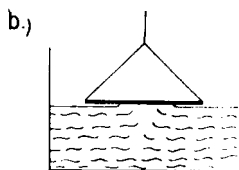
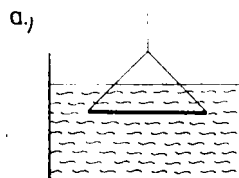
Ez utóbb említett cél és megállapítás azonban csak papíron írott ajánlás marad, mivel a könyv olyan minimális példányszámban jelent meg, hogy az a szabad kereskedelmi forgalomban (legalábbis Budapesten) egyáltalán nem kapható.

*Dr. Prohászka János*

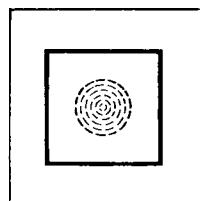
MITTEILUNGEN DES INSTITUTS FÜR LEICHTE FLÄCHENTRAGWERKE (II) —  
INFORMATION OF THE INSTITUTE FOR LIGHT WEIGHT STRUCTURES (II)

Universität Stuttgart — University Stuttgart

A könnyű felületszerkezetek kutatására szervezett — röviden *IL*-nek nevezett — intézetet, melynek célja nagyfeszítávolságú, s a környezethez jól illeszkedő építmények kutatása, *F. Leonhardt* stuttgarti professzor 1964-ben alapította. Az intézet a stuttgarti műegyetem mérnöki fakultásához tartozik, vezetője OTTO, Frei a montreali német pavilonnak az UIA Perret-díjával kitüntetett statikus szakértője.



1. ábra.



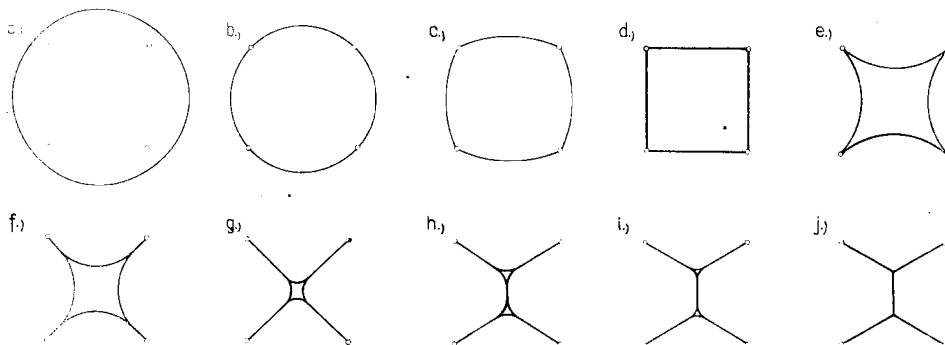
2. ábra.

Az intézet *IL* címen kétnyelvű — német és angol — kiadványsorozatot indított el, melyből évente 3—4 szám kiadása van tervbe véve. A sorozat első füzeté — *IL 1* névvel — nemrég jelent meg.

Az első füzet tartalmából kiemelkedik MINKE, G.—SCHÄFL, G. tanulmánya a minimálhálózatokról. Ebben többek közt a „minimál-út probléma” kísérleti megoldásáról van szó, tehát annak megállapításáról, miként lehet a síkban tetszőlegesen szétszórt pontokat a legrövidebb összhosszúságú egyetlen — esetleg elágazó — útvonallal összekötni.

Pl. egy  $a$  oldalú négyzet négy sarokpontját összekötő konfigurációk közül nyilván az 1. ábrán bemutatott négy lehetőség közül az utolsónak a hálózati hossza ( $\Sigma r$ ) a legrövidebb.

Az efféle — sok pont esetében matematikai úton nehézkesen kezelhető — feladatok megoldására az intézet kísérleti berendezést szerkesztett. A kísérleti berendezés lényege egy edény, melybe egy pontosan vízszintes síkú sima üveglemez van befüggesztve. Az edénybe különleges szappanoldatot (Pustefix) öntenek, úgy, hogy az az üveglapot is ellepje (2.a. ábra). Ha a szappanoldat szintjét fokozatosan lassan lesüllyesztik, némi levegő kerül az üveglemez alá, de a szappanoldat nem szakad el azonnal az üveglemeztől, hanem az adhéziós és kohéziós erők hatására körhenger alakban ragadva marad (2.b. ábra). Ebben a helyzetben a ragadva maradt folyadék rész oldalnyomását a hengeres rész felületén működő kapilláris húzófeszültség egyensúlyozza.



3. ábra.

ség egyensúlyozza. Ha a folyadékszintet tovább süllyesztik, az üveglemezhez tapadó folyadék-henger átmérője egyre szűkül, míg végül is teljesen elválk az üveglemeztől.

Más a helyzet, ha a folyadéktérbe alulról egészen az üveglemezig terjedő függélyes tűket helyeznek (3.a. ábra). Ilyenkor a szappanoldat szintjét süllyesztve, az üveglemezhez tapadó szappanoldat csak addig marad körhenger alakú, amíg a körhenger pereme el nem éri az említett tűket (3.b. ábra). Innét kezdve a tűk is bekapcsolódnak a tapadó folyadék egyensúlyozásába, s a folyadékszint további lassú süllyesztésekor sorra a 3. ábrán feltüntetett állapotok alakulnak ki, míg végül is a minimálfeladat megoldását szolgáltatató 3. j. alatti konfiguráció elő nem áll. Ezt a konfigurációt fényképen rögzítik.

A kiadvány számos hasonló érdekes minimál-konfigurációt mutat be. Ezek határoló felületei síkok, melyek a belső hármas elágazási pontokban  $120^\circ$ -os szöget zárnak be egymással.

Az úthosszak minimalizálásának feladata elméleti érdekességén túlmenően gyakorlati jelentőséggel is bír, pl. úthálózatok tervezésekor.

A kiadvány egyúttal érdekes képeket mutat be különböző függőtétokről és kiállítási sátrakról is, melyek szerkesztési elveinek kutatása szintén az intézet ügykörébe tartozik.

Érdeklődéssel várjuk az új kiadványsorozat további számait.

Dr. Csonka Pál

*Heinrich Engel:*

TRAGSYSTEME. STRUCTURE SYSTEMS

Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 280. oldal

E nagyformátumú, kétnyelvű — német és angol — kiadvány előszavát Ralph RAPSON, a minnesotai egyetem építész fakultásának vezetője írta, s szövegét Hannskarl BANDELnek egy rövid értékezése egészíti ki, mely a szerkezettervezés új útjait tárgyalja.

Maga a könyv, mely rövid szövegrészekből eltekintve szerkezeti alakzatok ábragyűjteménye, öt fejezetre oszlik.

Az első fejezet (Formaktive Tragsysteme, Form-active Structure Systems) azokkal a szerkezetekkel foglalkozik, melyekben a terhelés hatására csupán egyenmő derékerők (húzó,

vagy nyomóerők) keletkeznek, tehát lényegében véve hajlító- és csavarónyomatékoktól mentesek. A szóban forgó szerkezetek anyagigénye minimális, s ezért ezek nagy terek áthidalására alkalmasak. E csoport keretében szerző részletesen ismerteti a függőtetők különböző fajtáit, a sátoztatókat, a légnyomásos szerkezeteket (légsátrakat és légtömlős szerkezeteket), valamint az ívszerkezeteket. A tárgyalta szerkezeteket részben orthogonális, illetve klinogonális projekciókban, részben pedig modellfotókon mutatja be. Az ábrákat szűkszavú, de jellemző feliratok magyarázzák.

A *második fejezet* (Vektoraktive Tragsysteme, Vectoractive Structure Systems) a rácsos szerkezetekkel foglalkozik, ideértve a síkbeli és térbeli rácsos szerkezeteken kívül a görbefuléletekre illesztett kosárszerű rácsokat is. Itt is igen világos és szemléletes ábrák, valamint modellfotók magyarázzák a különféle szerkezeteket és azok szerkesztésmódját.

A *harmadik fejezet* (Massenaktive Tragsysteme, — Bulk-active Structure Systems) a hajlításra igénybevett szerkezeteket ismerteti. Bemutatja a két- és többtámaszú tartók, földszintes és emeletes keretek, kerettartók és gerendarácsok különböző fajtáit s az épületvázak különféle rendszerét. E fejezet ábrái — az előzőkkel ellentétben — nem mindenütt szemléletesek.

A *negyedik fejezet* (Flächenaktive Tragsysteme, — Surface-active Structure Systems) a felületszerkezetek igen részletes ábragyűjteménye. Ez a fejezet igen alaposan ismerteti a lemezművek alaptípusait, azok különféle kombinációit, továbbá az egyfajta, vagy kétfajta síklapokból felépíthető poliédereket. Itt kerülnek bemutatásra az egyszerű és összetett hengerhéjak, a keresztboltozatalakú és cikkelyes héjak, gömb- és süveghéjak, forgáshéjak, valamint mindezek kombinációi. Nagy részletességgel szemlélteti szerző a hiperbolikus paraboloid alakú héjak különböző fajtáit, ideértve a hiperbolikus paraboloid alakú elemekből összetett héjak számos példáját. Az ábrák közül a vonalas ábrák igen sikerültek, kevésbé mondható ez azonban el a fényképekről, melyek sok esetben semmitmondók.

Az *ötödik fejezet* (Senkrechte Tragsysteme — Vertical Structure Types) az épületvázak felépítésének és merevítésének különböző lehetőségeit szemlélteti.

Általában elmondható, hogy a könyv, melynek tartalmát 80%-ban tanulságos és igen nagy gondnal megszerkesztett szebbnél szebb ábrák alkotják, sikeres kísérlet a különféle szerkezetek rendszerbe foglalására és működési elvük ismertetésére. Szerző az egyszerű szerkezeteken át fokozatosan vezet az összetettebb szerkezetek felé, nem mulasztván el az ábráfeliratokban is az illető szerkezetek lényegét, illetve erőjátékát magyarázó tanulságos, a megértést szolgáló megjegyzéseket tenni.

Az igen gazdag fantáziával megszerkesztett könyv melegen ajánlható építészeknek, mérnököknek és mindazoknak, akik szeretettel tanulmányozzák az építési szerkezetek formagazdagságát és e szerkezetek erőjátékában megnyilvánuló szépséget.

Dr. Csonka Pál





# A SZAKDOLGOZATOK KÉZIRATÁRÓL

IRÁNYELVEK AZ MTA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK FOLYÓIRATAIBAN KÖZZÉTEENDŐ  
DOLGOZATOK SZERZŐI, LEKTORAI ÉS FORDÍTÓI RÉSZÉRE

Az *Acta Technica* szerkesztősége 1961-ben „A szakcikkek kéziratáról” című közleményben összefoglalta az Osztály műszaki folyóirataiban közzéteendő dolgozatok kéziratának kiállítására vonatkozó irányelveit. Az azóta eltelt időszakban szerzett tapasztalatok, az időközi változások, valamint a szakkörök — főként DR. TERPLÁN ZÉNÓ által közölt észrevételek, — szükségessé tették ezen irányelvek felülvizsgálatát és kiegészítését. Az alábbi összeállítás a szóban forgó módosított irányelveket tartalmazza.

## 1. Általános tudnivalók

Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának folyóiratai az *Acta Technica*, a *Műszaki Tudomány* és az *Építés-Építészettudomány* az Osztály belső életének eseményeiről szóló tudósításokon kívül általában csak új elvi megállapításokat tartalmazó, hazai és nemzetközi érdekű, a közvetlen műszaki gyakorlaton túlmutató tudományos jellegű tanulmányokat, könyvbírálatokat, valamint egyes szűkebb tudományterületek helyzetképét feltűntető dolgozatokat közöl.

Az *Acta Technica* az MTA Műszaki Tudományok Osztályának idegen nyelvű folyóirata. Ez angol, német, francia, orosz, vagy olasz nyelvű oly tudományos közleményeket hoz, amelyeket a felsorolt világnyelvek egyikén sem tettek közzé.

A *Műszaki Tudomány*, valamint az *Építés-Építészettudomány* az MTA Műszaki Tudományok Osztályának magyar nyelvű folyóiratai. Ezek csak magyar nyelven még közzé nem tett dolgozatokat közölnek.

Az *Acta Technica*-ban és a *Műszaki Tudomány*-ban közzéteendő dolgozatokat, az *Acta Technica Szerkesztőségének* címezve, Budapest, V., Münnich Ferenc u. 7. sz. alatt, az *Építés-Építészettudomány* részére írott tanulmányokat pedig az *Építés-Építészettudomány Szerkesztőségének* címezve, Budapest, XI. Műegyetem-rakpart 3, K. II. 60 (Építészettörténeti Tanszék) kell benyújtani. A kézírathoz kísérő levelet kell mellékelni szerzőnek arra vonatkozó nyilatkozatával, hogy a dolgozatát közölte-e már egyéb helyen, vagy szándékozik-e azt a dolgozat megjelenése előtt másutt is közzétenni.

A szerkesztőség a beküldött dolgozatokat lektorokkal véleményezteti, és azok véleménye alapján dönt a közlést illetően. Azt, hogy a dolgozat az *Acta Technica*-ban, a *Műszaki Tudomány*-ban, vagy az *Építés-Építészettudomány*-ban jelenjék-e meg, a Szerkesztőbizottság állapítja meg.

## 2. A dolgozat terjedelme és tagolása

A dolgozat szövegrésze — egy-egy tudományterület helyzetképét bemutató dolgozatoktól eltekintve — lehetőleg ne legyen 15 írógépi oldalnál hosszabb. A terjedelmesebb dolgozatokat célszerű két, vagy több részre felbontani.

A 6—8 írógépellátott oldalnál hosszabb dolgozatokat bevezetéssel célszerű ellátni és megfelelő részekre (fejezetekre és cikkelyekre) ajánlatos tagolni. Az egyes részeket lehetőleg címmel és sorszámozással (római és arab, esetleg decimális sorszámozással) kell ellátni. Az egyes cikkelyeken belül legfeljebb egyfajta további osztás (betűjelölés, esetleg decimális alosztás) lehetséges.

### 3. A kézirat elrendezése

A kéziratot és mellékleteit iratgyűjtőben (tékában) kell benyújtani. Ennek homloklapján a következő adatokat kell feltüntetni:

- a dolgozat címét
- a szerző(k) nevét
- a szerző(k) tudományos fokozatát és beosztását
- a szerző(k) munkahelyét,
- a szerző(k) munkahelyének és lakásának címét és telefonszámát
- a vonalas ábrák és a fényképek számát.

Az iratgyűjtőben a kézirat lapjait a következő sorrendben kell egymás után iktatni:

*Címlap* (külön lapon)

*Tartalmi kivonat* (4 példányban, külön-külön lapokon)

*Jelölések* (külön lapon, amennyiben az alkalmazott betűjeleket szerző nem a szöveg megfelelő helyén magyarázza)

*Szöveglapok*

*Táblázatok* (külön lapokon)

*Ábrafeliratok* (külön lapon)

Az esetleges ábrák vázlatait, valamint a közlendő fényképeket egy-egy külön borítékba gyűjtve kell a dolgozathoz csatolni.

### 4. A kézirat külalakja

A közzeendő dolgozatokat A4 (210 × 297 mm-es) méretű fényezetlen felületű, fehér színű, famentes papírra, annak csupán egyik oldalára gépelve, egy eredeti és lehetőleg egy másolati példányban kell a szerkesztőséghez benyújtani. Eredeti példányként nem fogadható el karbonmásolat, fénymásolat, stencilezett másolat, kockás vagy vonalas papírra írt, továbbá gyöngybetűs írógéppel, avagy kézzel írt szöveg.

A kézirat lapjait fent középen folytatólagos sorszámmal kell ellátni. Ha a kézirathoz pótlás szükséges, a kézirat lapjait alszámozás mellőzésével folytatólagosan kell átszámozni. A kézirat lapjait nem szabad összehajtani, összegöngyölni, összefűzni, vagy beköttetni.

A szöveg gépelésekor mindkét oldalon 4—4 cm széles szegélyt (margót) kell hagyni, s egy-egy oldalra 25 sort kell írni 50 leütéssel.

A gépelés kettős sortávolsággal történjék. A cím és a szöveg közt legalább négy sorközt üresen kell hagyni. A bekezdések első sorát 5 betűvel beljebb kell kezdeni, mint a többi sort.

A dolgozat fő- és alcímeit úgy kell gépelni, hogy az a cím nagyságrendjét világosan fejezze ki. Az egyes alcímeiken belül az esetleges további alosztások címét az azt követő szöveggel folyamatosan (tehát nem külön sorba) kell írni.

A szövegben előforduló személyneveket (de csak a vezetékneveket!) ceruzával kétszer alá kell húzni. Ez a rendelkezés nem vonatkozik a személynévvel megjelölt eljárásokra, képletekre stb. (pl. Vianello-féle eljárás, Euler-képlet), valamint az építészettörténeti és településtudományi cikkekben szereplő személynevekre.

A kézirat egy-egy lapján legfeljebb 5 sorban szabad utólagos változtatást eszközölni. Ebbe nem számít bele a betűhibák javítása, vagy betűknek és szavaknak pótlás nélkül való törlése. A kéziratnak ráragasztott szövegrésszel való helyesbítése megengedett.

## 5. A dolgozat címe

A dolgozat címe rövid, de kifejező legyen. A címet a papír felső szélétől 5 cm távolságra kell gépelni. A címet kövesse külön-külön sorba gépelve a szerző(k) neve, tudományos fokozata és a kézirat benyújtásának időpontja. Ezek egyike után sem kell a kéziratban pontot tenni.

Magyar szerzők utónevét idegen nyelvű szöveg címében általában a magyar utónév kezdőbetűjével kell közölni (pl. I. KORÁNYI). Idegen szerzők nevét magyar szövegű dolgozat címében az illető ország írásmódja szerint kell írni (pl. Dr.-Ing. Hermann RÜHLE).

A dolgozat szerzőjének (szerzőinek) postacímét lábjegyzetben kell közölni.

A címrovat alakja

angol szövegben:

PROPAGATION OF ELASTIC BENDING VIBRATION IN BARS

B. KIRÁLY\*

CAND. OF TECHN. SC

[Manuscript received Mai 18, 1967]

\* Dr. Király Béla, Üllői út 60–62, Budapest VIII., HUNGARY

német szövegben:

FORTPFLANZUNG VON ELASTISCHEN BIEGESCHWINGUNGEN IN STÄBEN

B. KIRÁLY\*

KANDIDAT DER TECHN. WISSENSCHAFTEN

[Eingegangen am 18. Mai 1967]

\* Dr. Király Béla, Üllői út 60–62, Budapest VIII., UNGARN

francia szövegben:

PROPAGATION DES OSCILLATIONS DE FLEXION ÉLASTIQUE DANS LES BARRES

B. KIRÁLY\*

[Manuscrit reçu le 18 mai 1967]

\* Dr. Király Béla, Üllői út 60-62, Budapest VIII., HONGRIE

orosz szövegben:

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ИЗГИБАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ В СТЕРЖНЯХ

Б. КИРАЙ\*

\* Dr. Király Béla, Üllői út 60-62, Budapest VIII., Венгрия

magyar szövegben:

RUGALMAS HAJLÍTÓ REZGÉSEK TOVATERJEDÉSE RUDAKBAN

KIRÁLY BÉLA\*

A MŰSZ. TUD. KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1967. május 18-án]

\* Dr. Király Béla, Üllői út 60-62, Budapest VIII.

## 6. A tartalmi kivonat

Az Osztály folyóiratai minden dolgozat szövegrésze előtt az illető dolgozat nyelvén írt tartalmi kivonatot közölnek. E tartalmi kivonaton kívül az említett folyóiratok a dolgozatok szövege után két további tartalmi kivonatot hoznak, mégpedig

angol nyelvű dolgozat végén: német és orosz nyelven

német nyelvű dolgozat végén: angol és orosz nyelven

francia nyelvű dolgozat végén: angol és orosz nyelven

olasz nyelvű dolgozat végén: angol és orosz nyelven

orosz nyelvű dolgozat végén: angol és német nyelven

magyar nyelvű dolgozat végén: angol és német nyelven.

A fentiekben túlmenően az ACTA TECHNICA az egyes kötetek (félkötetek) végén kartotékban való megőrzés céljára színes papírlapra nyomott, angol nyelvű tartalmi kivonatot is közöl.

A tartalmi kivonatnak tartalmaznia kell a dolgozat érdemi megállapításainak, valamint végkövetkeztetéseinek rövid összefoglalását, továbbá fel kell hívnia a figyelmet a tanulmányban foglalt új adatokra és azok jelentőségére. A tartalmi kivonatnak a dolgozat áttekintése nélkül önmagában véve is



érthetőnek kell lennie, benne nem szabad képletekre, vagy ábrákra hivatkozni. *Terjedelme ne haladja meg a 15 gépelt sort!*

A tartalmi kivonat lapján fent fel kell tüntetni a dolgozat címét, a lap legalján pedig, a folyóirat tartalomjegyzékének összeállítását megkönnyítendő, a dolgozat szerzőjét (szerzőit) és a dolgozat címét. (Orosz nyelvű tartalmi kivonat esetében mindezt cirill betűvel írva).

A tartalmi kivonat idegen nyelvű fordítását a fordítónak két-két példányban kell a szerkesztőséghez benyújtania.

## 7. A dolgozat fogalmazása

A tudományos dolgozat szerzője a dolgozat bevezetésében vázolja fel a tárgyalandó problémát, utaljon az illető problémakörben már megjelent munkákra, s azok megállapításaira.

A dolgozat gondolatmenete legyen folyamatos és áttekinthető, fogalmazása szabatos és tömör, de érthető és követhető. A dolgozat mutasson rá arra, hogy a közölt megállapítások mennyiben újak, s miben térnek el más szerzők megállapításaitól.

A dolgozat fogalmazásakor kerülni kell a bonyolult mondszerkezeteket, főleg a beszúrásokat és közbevetett mondatokat. Sok mellékmondat használata zavarja a szöveg megértését, s megnehezíti annak fordítását. A többszörös birtokviszony használatát is mellőzni kell.

*A mondatok általában ne legyenek négy gépírt sornál hosszabbak!*

Kerülni kell az ismétléseket: azt, ami az ábrákból magyarázat nélkül is kitűnik, nem kell a szövegben leírni. Ugyanez vonatkozik a táblázatokra is. Ugyanazt a törvényszerűséget általában felesleges kétféle módon, nevezetesen táblázattal is és függvényábrán (diagramon) is bemutatni.

*A dolgozatban általában kerülni kell az egyesszám első személy használatát.* Helyette személytelen fogalmazást, többesszám első személyt, vagy helyesebben ilyenyszerű fogalmazást kell használni. „Szerző vizsgálatai szerint” „E sorok írója szerint” stb.

*Idegen nyelvű szövegben (fordításban) lehetőleg mellőzni kell a többesszám első személy használatát is.* Ehelyett inkább szenvedő alakot, vagy személytelen alakot kell alkalmazni. E szabály nem vonatkozik az angolban szívesen használt „let us . . .” kifejezésmódra.

## 8. A transliteráció

Minthogy a hazai és külföldi közönyvtárak katalógusai a cirill betűs nyomtatványokat a latin ABC-re transliterált alakban tartják nyilván, a nem orosz nyelvű közleményekben a cirill betűs forrásmunkák címét és szerzőjük (szerzőik) nevét latin betűs alakra átírva kell közölni.

A transliterációt cirill betűről latin betűre a következő táblázat szerint kell végrehajtani:

| cirill | magyar | angol | német | francia | olasz |
|--------|--------|-------|-------|---------|-------|
| А а    | a      | a     | a     | a       | a     |
| Б б    | b      | b     | b     | b       | b     |
| В в    | v      | v     | v     | v       | v     |
| Г г    | g      | g     | g     | g       | g     |
| Д д    | d      | d     | d     | d       | d     |
| Е е    | e      | e     | e     | e       | e     |
| Ж ж    | zs     | zh    | ž     | ž       | ž     |
| З з    | z      | z     | z     | z       | z     |
| И и    | i      | i     | i     | i       | i     |
| Й й    | j      | i     | j     | j       | j     |
| К к    | k      | k     | k     | k       | k     |
| Л л    | l      | l     | l     | l       | l     |
| М м    | m      | m     | m     | m       | m     |
| Н н    | n      | n     | n     | n       | n     |
| О о    | o      | o     | o     | o       | o     |
| П п    | p      | p     | p     | p       | p     |
| Р р    | r      | r     | r     | r       | r     |
| С с    | sz     | s     | s     | s       | s     |
| Т т    | t      | t     | t     | t       | t     |
| У у    | u      | u     | u     | u       | u     |
| Ф ф    | f      | f     | f     | f       | f     |
| Х х    | h      | kh    | ch    | h       | h     |
| Ц ц    | c      | ts    | c     | c       | c     |
| Ч ч    | cs     | ch    | č     | č       | č     |
| Ш ш    | s      | sh    | š     | š       | š     |
| Щ щ    | scs    | shch  | šč    | šč      | šč    |
| Ъ ъ    | ”      | ”     | η     | “ou”    |       |
| Ы ы    | ü      | y     | y     | y       | y     |
| Ь ь    | ’      | ’     | ’     | ’ou’    | ’     |
| Э э    | é      | e     | é     | e       | é     |
| Ю ю    | ju     | iu    | ju    | ju      | ju    |
| Я я    | ja     | ia    | ja    | ja      | ja    |

### 9. Betűfajták nyomdai elnevezése

A nyomtatott betűket *nagyságuk* növekvő sorrendjében a következőképp szokás megjelölni:

gyémánt  
 nonpareille  
 petit  
 garmond  
 cicero  
 mittel  
 tercia

E betűnemeken belül a kis betűket *kurrens*-nek, a nagy betűket *verzális*-nak szokás nevezni. A szokásos tükörméret esetében garmond betűből általában 70, petitből általában 90 betű fér el egy sorban.

A betűket alakjuk, illetve vastagságuk szerint a következő jelzőkkel szokás egymástól megkülönböztetni:

antikva (álló betű)  
 kurzív (dőlt betű)  
 fraktúr (gót betű)  
 félkövér  
**kövér**  
 groteszk (mindenütt azonos vastagságú betű)

## 10. Az alkalmazandó betűfajták

*Álló (antikva)* betűvel kell szedni:

- a számértékeket (a zérust is)
- a képletekben előforduló zárójeleket ( ),
- a szögfüggvények jeleit és egyéb hasonló jeleket,

$\sin$ ,  $\cos$ ,  $\tan$ ,  $\cot$ ,  
 $\sinh$ ,  $\cosh$ ,  $\tanh$ ,  $\coth$ ,  
 $\arcsin$ ,  $\arccos$ ,  $\arctan$ ,  $\operatorname{arccot}$ ,  
 $\operatorname{Arsinh}$ ,  $\operatorname{Arcosh}$ ,  $\operatorname{Artanh}$ ,  $\operatorname{Arcoth}$   
 $\lim$ ,  $\log$ ,  $\ln$ ,  $\exp$ ,

a kémiai elemek betűjeleit

O, H, Al,

a mértékegységek jeleit

s(sec),  $\Omega$  (ohm), kp (kilopond),

a vektorszámítás műveletjeit

rot, div, grad,

a képletekben az indexeket, ideértve a

max, min, krit, konst

és hasonló rövidítéseket.

*Dőlt (kurzív)* betűvel kell szedni (részben az MSZ szabványtól eltérően):

a fizikai fogalmak betűjeleit

az előzőekben nem említett függvényjeleket

$f(x, y)$ ,  $\Phi(r, \varphi)$ ,

valamint a

$d$ ,  $\partial$ ,  $\delta$ ,  $\Sigma$ ,  $\Pi$ ,  $\mathcal{L}$ ,  $e$

műveletjeleket.

*Félkövér* betűvel kell szedni a vektorokat.

*Groteszk* (mindenütt azonos vastagságú) betűvel kell szedni a mátrixokat.

A *dőlt* (kurzív) betűvel szedendő szövegrészeket a kéziratban ceruzával egyszer alá kell húzni. Különleges egyéb betűfajttával (félkövér, groteszk) szedendő részeket a kéziratban meg kell jelölni és a kézirat bal oldali szegélyén külön meg kell nevezni.

*Fraktúr* (gót) betűt semmiféle dolgozatban sem szabad használni, cirill betűt pedig csak orosz nyelvű dolgozatban szabad alkalmazni. Utóbbiakban a

képleteket latin betűkkel kell írni, s a fizikai fogalmak megjelölésére — a mértekegységek kivételével — latin betűt kell alkalmazni.

## 11. A képletek

A képleteket általában a szövegsorok közé iktatott külön sorba szabadkézzel kell igen gondosan berajzolni, mégpedig tintával, vagy tussal. Képletet géppel írni csak akkor szabad, ha a gépíró ebben különlegesen jártas.

A képletek berajzolásához a sorok közt *bőséges* szabad helyet kell hagyni. *A 2 × 2 soros sortávolság a képletek beírására általában elégtelen.*

Fénymásolt, stencilezett képleteknek a kéziratba való beiktatása, valamint a képletek bekeretezése tilos.

*A szedő az önálló sorban levő képleteket külön utasítás nélkül is dőlt (kurzív) betűvel szedi,* tehát nem szabad a dőlten szedendő betűket, vagy az egész képletet aláhúzni. Ha azonban a képletben egyes részek álló betűvel szedendők, akkor e részeket zöld színnel alá kell húzni.

A szöveg soraiban levő dőlt betűvel szedendő jeleket kézírással kell a szövegbe beírni. Az ilyen kézírással beírt betűket, ha betűjel voltak nem vitás, nem kell a kurzív szedésre figyelmeztetésül semmiféle külön jellel (ceruzával történő aláhúzással) megjelölni. A szövegsorban levő géppel írt olyan betűjeleket azonban, melyeket dőlten kell szedni, ceruzával (!) alá kell húzni.

A képletek után a mondat értelmének, illetve szerkezetének megfelelő írásjelet (pontot, vesszőt, pontosvesszőt) ki kell tenni. Ettől csak akkor lehet eltekinteni, ha az félreértésre adhat alkalmat.

Táblázatszerű számoszlopok, vagy felsorolások sorai után nem kell írásjelet kitenni. Nem kell pontot tenni a képletek indexeként szereplő rövidítések (pl. max) után sem.

A szövegsorok közé nem szabad oly képletet, vagy olyan betűjelet beiktatni, ami sorritkítást tesz szükségessé. Ennek érdekében pl.

$$\frac{a+b}{c \cdot d} \text{ helyett ezt kell írni: } (a+b)/(c \cdot d).$$

$$\frac{du}{ds} \text{ helyett ezt kell írni: } du/ds, \text{ vagy } u_s.$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x \cdot \partial y} \text{ helyett ezt kell írni: } \partial^2 v / (\partial x \cdot \partial y), \text{ vagy } v_{xy},$$

$$\frac{1}{a} \text{ helyett ezt kell írni: } 1/a, \text{ vagy } a^{-1},$$

$$\sqrt{x^2+y^2} \text{ helyett ezt kell írni: } (x^2+y^2)^{1/2}.$$

Integráljel alkalmazásakor a határokat nem e jelek fölé és alá, hanem az említett jelek mellé kell írni. Pl.:

$$\int_a^b \text{ helyett ezt kell írni: } \int_a^b.$$

A képletek berajzolásakor csak annyi betűt szabad egy sorba írni, amennyi ott kényelmesen elfér. Az egy sorban *kényelmesen* el nem férő képleteket több sorra bontva kell írni, mégpedig a képlet szedésekor óhajtott elrendezésben. A két, vagy több sorra áterjedő képletekben az egyes sorok végén, illetve a következő sorok elején a műveletjelet (szorzás esetében a  $\times$ -jelet) meg kell ismételni. Pl.:

$$y = -\frac{3p}{2} \left( \frac{p^2}{4} - m^2 \right) \left[ \frac{ab}{q^3} + \frac{1}{abq} (a^2 - b^2) \cos^2 \varphi \right] \times \\ \times \left[ \frac{cd}{q^3} + \frac{1}{c b q} (c^2 - d^2) \sin^2 \varphi \right].$$

Ha valamely tört számlálója, vagy nevezője nem fér el egy sorban, akkor a számlálót, illetve nevezőt egy-egy alkalmas betűjellel kell helyettesíteni, s a betűjelek értelmét a képletet követően kell megmagyarázni. Pl. így:

$$z = \frac{A}{B},$$

ahol

$$A = \int_0^1 (A + Bx + Cx^2)^m (D + Ex + Fx^2)^n dx + \\ + \int_0^1 (A - Bx + Cx^2)^m (D - Ex + Fx^2)^n dx, \\ B = \int_0^1 (A + Bx + Cx^2)^m (D + Ex + Fx^2)^n dx + \\ + \int_0^1 (A - Bx + Cx^2)^m (D - Ex + Fx^2)^n dx.$$

## 12. A képletek sorszámozása

A képleteket csak akkor kell sorszámozni, ha az illető képletekre a dolgozatban hivatkozás történik, vagy feltételezhető, hogy azokra később hivatkozni fognak. A felesleges sorszámozást kerülni kell.

A képletek megjelölésére a kézirat jobb szélén kerek zárójelbe foglalt arab számot (esetleg decimális számot) kell alkalmazni. A sorszám után nem kell pontot tenni:

$$c_3 = a \left( 1 + \frac{4\lambda}{z} \right). \quad (1)$$

A képletek számozására alkalmazandó kerek zárójel írógépeltszövegben ferde törtvonallal helyettesíthető. Ha a képlet több sorra terjed ki, a sorszám a képlet utolsó sorának magasságába kerüljön. Képletcsoportok sorszámát kapcsolójel mellőzésével a képletcsoport középmagasságában kell kitenni.

A képletek után nem szabad a képlet sorszámához vezető pontsort kitatni.



### 13. A szorzás jele

A szorzás jele általában a tényezők közé a sor félmagasságában iktatott pont, ezt azonban csak akkor kell kitenni,

1. ha két egymást követő tényező mindegyike tört, pl.

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c+mx}{d+nx},$$

2. ha ezáltal zárójelet takarítunk meg, pl.

$$\sin \lambda x \cdot \sin \mu y,$$

3. ha számtényezőket kell egymástól elválasztani, pl.

$$1,2 \cdot 0,3 \cdot 2,6 \cdot 3,1.$$

Egyéb esetekben a tényezőket a szorzásjel mellőzésével kell egymás mellé írni, úgy azonban, hogy az egyes tényezők közt kellő hézag (spácium) maradjon, pl.

$$a \ b \ c.$$

A tényezőknek hézag kihagyása nélkül közvetlen egymás mellé való iktatása csúnya, pl.

$$abc.$$

A számtényezők közé iktatott szorzásjel előtt és után is kellő hézagot kell hagyni, másképp ti. a képlet nehezen olvasható. Tehát

$$1,2 \cdot 0,3 \cdot 2,6 \cdot 2,1$$

helyett ezt kell írni:

$$1,2 \cdot 0,3 \cdot 2,6 \cdot 2,1.$$

### 14. A betűjelek

A képletekben és ábrákon betűjelként lehetőleg latin betűket kell alkalmazni. Latin betűkön felül csak görög betűk használhatók. Gót és cirill betűket a képletekben nem szabad alkalmazni.

A betűk mellé nem szabad kettőnél több indexet iktatni. A sok index az olvasóra zavarólag hat. A betűk mellett az index lehetőleg szám, vagy latin kis betű legyen. Indexszel bíró indexnek betűjelként való alkalmazását kerülni kell.

A képleteknek a szövegbe való berajzolásakor különös gondot kell fordítani a könnyen összecserélhető következő betűk írására:

$$\begin{array}{ll} l & \text{(longitudo), } l \text{ (arab egyes), } I \text{ (római egyes)} \\ a & \text{a és } \alpha \text{ (alfa)} \\ \alpha & \text{(alfa) és } x \text{ (iksz)} \\ \kappa & \text{(kappa) és } x \text{ (iksz)} \\ \omega & \text{(ómega) és } w \end{array}$$

$\nu$  (nü) és  $n$ , vagy  $v$   
 $g$  és  $q$   
 $k$  és  $K$   
 $I$  és  $J$   
 $I$  és  $J$   
 $0$  (zérus) és  $O$  (Ottó)

Tévedések elkerülése végett a *képletekben az  $l$  betűt nem szabad géppel beírni*. A görög betűket pirossal alá kell húzni, s ha félreérthetők, a kézirat baloldali szegélyén név szerint is meg kell nevezni. Pl.

( $\alpha$  = alfa), ( $\kappa$  = kappá) .

A tehetetlenségi nyomatékot a képletekben és szövegben nem  $I$  betűvel, hanem olyan  $J$  betűvel kell írni, amelynek alsó szára nem nyúlik a sor széle alá. Erre a körülményre a szedőt a kézirat bal oldali szélén a következőképp kell figyelmeztetni:

(alacsony  $J$  betű) .

Ha a dolgozatban számos betűjel szerepel, célszerű az alkalmazott betűjeleket külön összefoglalva is közölni. Ezt a jelmagyarázatot

magyar szövegben: Jelölések  
 angol szövegben: Symbols  
 német szövegben: Bezeichnungen  
 francia szövegben: Notations  
 orosz szövegben: Буквенные обозначения

címmel, külön lap(ok)ra gépelve, a tartalmi kivonat után kell a dolgozatba beiktatni.

## 15. A zárójel

A képletek berajzolásakor és szedésekor gondosan ügyelni kell a zárójelek nagyságrendjére. A zárójel sohase legyen kisebb, mint az általa bezárt képletrész legmagasabb részlete. A kampós zárójel mindenkor nagyobb legyen, mint az általa bezárt képletrészben a szögletes zárójel, a szögletes zárójel pedig nagyobb legyen, mint az általa bezárt képletrészben szereplő kerekded zárójel:

$$A \{ [a + b(x + c)] + [e + f(y + d)] \} .$$

Képleteknek írógéppel való írásakor a kerekded zárójelet nem szabad ferde törtvonallal helyettesíteni.

## 16. Az írásjelek

A kéziratban gondosan kell ki tenni az írásjeleket, magyar szövegben azonban a géppel nem írható ékezeteket általában nem kell kézírással pótolni.

Sorszámok után mellőzni kell a félzárójel alkalmazását. A helyes írásmód tehát a következő: 1. vagy IV. stb.

Betűzés után csak félzárójelet kell tenni, pont nélkül, például: a) vagy B) stb.

A kerekded zárójelet helyettesítő ferde törtjel belső oldalára nem szabad kettős pontot tenni, ügyelni kell ellenben arra, hogy a ferde törtvonalások szorosban az általuk közrezárt szövegrészhez zárkózzanak, s kellő hézaggal váljanak el a zárójelen kívül levő szövegrésztől.

A gondolatjelet gépeléskor két elválasztó jellel kell pótolni: --. A szöveg gépelésekor a gondolatjel előtt és után hézagot kell hagyni. Kezdő gondolatjel nem lehet a sor végén, befejező gondolatjel nem lehet a sor elején.

A mértékek, pénzek és égtájak rövidítése után nem kell pontot tenni.

## 17. Az ábrák

A dolgozatot célszerű magyarázó ábrákkal kísélni, de a felesleges ábrákat mellőzni kell. Általában az ábrák száma ne legyen több, mint a kézirat oldalszámának a fele. Az ábrákat úgy kell megtervezni, hogy a lapon lehetőleg *álló helyzetben* férjenek el, tehát szélességi méretük kicsinyítés után ne legyen 12,5 cm-nél nagyobb.

Az ábrákat (ideértve a fényképábrákat is) folytatólagos — nem decimális — számozással kell ellátni. A dolgozat szerzőjét, az ábra sorszámát és a kicsinyítés javasolt mértékét magán az ábrán — fényképábrák esetében azok hátoldalán — fel kell tüntetni.

Az ábrákat nem szabad a kézirat lapjaira rajzolni, vagy felragasztani, helyüket a kézirati lap bal szegélyén (margóján) keretbe foglaltan meg kell jelölni.

[...ábra]

Amennyiben valamely vonalas ábra vázlatából, vagy valamely fényképábrából az ábra óhajtott helyzete egyértelműen nem tűnik ki, a függélyes és vízszintes irányt, illetve az ábra felső és alsó szélét az ábralapon (fényképábra esetében annak hátoldalán) külön meg kell jelölni.

Idegen helyről átvett vonalas ábrák, vagy fényképábrák esetében az ábrafelirathban pontosan meg kell nevezni azt a forrást, ahonnan a szerző az illető ábrát átvette.

A szövegben minden ábrára legalább egyszer hivatkozni kell. A hivatkozás módja

|                    |            |
|--------------------|------------|
| magyar szövegben:  | (12. ábra) |
| angol szövegben:   | (Fig. 12)  |
| német szövegben:   | (Bild 12)  |
| francia szövegben: | (fig. 12)  |
| oros szövegben:    | (рис. 12)  |

a) *A vonalas ábrák* (fototípiák). Ezek vázlatát — külön borítékba gyűjtve — a kézirathoz kell csatolni. Minden ábravázlatot 210 × 297 nagyságú külön papírlapra kell rajzolni, azonban az egymás mellé nyomtatandó ábrákat az óhajtott elrendezésben közös lapon kell benyújtani. Az ábravázlatokat nem szabad bekeretezni.

*A vonalas ábrákon kerülni kell minden felesleges vonalat és betűjelet. Magába az ábrába nem szabad képleteket és szövegrészeket (neveket, magyarázatokat) beírni!* Ha az ábra megértéséhez ily magyarázatok szükségesek, azokat *Jel-*

*magyarázat* vagy *Megjegyzés* címmel az ábrafeliratban kell közölni. Az ábrafeliratokban magyarázó szövegrész heiktatása megengedett.

A vonalas ábrák vázlatát átlátszó, vagy fehér papírra kell rajzolni, mégpedig — kivételes esetektől eltekintve — *kétszeres nagyításban*. Az ábravázlatokat a szerkesztőség az egyöntetűség kedvéért átrajzoltatja, miért is a vázlatokat felesleges tussal, vagy tintával kihúzni.

Az ábravázlatokon — a szabványtól eltérően — dűlt betűk helyett mindenütt álló betűket kell írni. Az alkalmazott betűjelek nagysága az ábra kicsinyítési mértékéhez igazodjék. A szokásos 1 : 2 kicsinyítést feltételezve, az ábravázlatokon a kis betűk magassága 3 mm, a nagybetűk és számok magassága 4 mm, az indexek magassága 2 mm legyen. Az l betűt a szabványtól eltérően felső és alsó füllel ellátva kell rajzolni.

A függvényábrákon (diagramokon) mindenkor fel kell tüntetni a tengelyek betűjelét, a léptéket és a mértékegységeket.

b) *A fényképpábrák* (autotípiák). Az ezek céljaira mellékelt fényképeket megfelelő felirattal ellátott külön borítékba gyűjtve kell a kéziratához csatolni. E borítékon fel kell tüntetni a benne levő fényképek darabszámát. A fényképek lehetőleg 13 × 18 nagyságúak legyenek.

Fakó, homályos, kontraszt nélküli, többször átfotografált fényképek nem alkalmasak közlésre.

### 18. A számok írásmódja

A szövegben, képletekben és táblázatokban a számjegyeket hármascsoportokba kell foglalni, s a tizedeseket vesszővel kell az egész számoktól elválasztani. A négyjegyű számokat azonban csak akkor kell szétválasztva két csoportba írni, ha oly számoszlophoz foglalnak helyet, amelyben a számjegyek hármascsoportba vannak foglalva:

|               |         |
|---------------|---------|
| 27 316,022 42 | 3216,20 |
| 3 125,307 16  | 407,21  |
| 30 441,329 58 | 3623,41 |

### 19. A számpéldák

Műszaki dolgozatokban általában számpéldát célszerű közölni.

A számpéldában nem szabad megismételni az alkalmazni óhajtott képletet, elegendő arra csak hivatkozni.

A számítás során általában elégséges csak a számítás kezdő lépését és a végeredményt közölni, mindenkor közölve azonban a behelyettesítendő mennyiségek és a végeredmény mértékegységét (dimenzióját).

#### A Számpéldá(k) címszó megjelölése

angol szövegben: Numerical example(s)  
 német szövegben: Zahlenbeispiel(e)  
 francia szövegben: Exemple(s) numérique(s)  
 orosz szövegben: Численный(ие) пример(а)

## 20. A mértékegységek

A tömegegységet (gramm) g, a súlyegységet (pond) p betűvel kell jelölni. Ennek megfelelőleg különbséget kell tenni a kilogramm ( $\text{kg} = 1000 \text{ g}$ ) és a kilopond ( $\text{kp} = 1000 \text{ p}$ ) közt. A kilopond 1000-szerese a megapond (Mp). A feszültséget nem  $\text{kg}/\text{cm}^2$ -ben, hanem  $\text{kp}/\text{cm}^2$ -ben, a nyomatékot pedig nem mt-ban, hanem mMp-ban kell kifejezni.

A hőfokot a szabványos előírásnak megfelelően magyar szövegben is  $^{\circ}\text{C}$ -szal, vagy kiírva „Celsius fok”-kal kell jelölni.

## 21. Az irodalmi hivatkozások

Az irodalmi hivatkozások sorszámát szögletes zárójelbe kell foglalni. Pl.:

[1], [22], [5, 12], [21—26].

Írógéppel írt szövegben a szögletes zárójelet kézírással kell berajzolni:

Az irodalmi hivatkozás jelét rendszerint közvetlenül a szerző neve után kell a szövegbe beiktatni. Pl.:

A Galerkin-féle eljárás alkalmazására GIRMANN [23] mutatott be több példát.

Ha valamely mű bizonyos fejezetére, vagy oldalaira kell utalni, azt általában nem a szövegrészben, hanem az *Irodalom* című rovatban (építészettörténeti vagy településtudományi cikkekben esetleg lábjegyzetben) kell megemlíteni. Pl.:

42. GIRMANN, K.: Flächentragwerke. 5. Aufl., Springer-Verlag. Wien 1959, 36, 103, 175.

43. DIERKS, K.: Windberechnung einer hyperbolischen Paraboloid-Schale. *Der Bauingenieur* 37 (1963), 259.

## 22. Az Irodalomjegyzék

A dolgozat forrásmunkáit, valamint azokat a műveket, melyekre a dolgozat hivatkozik, a dolgozat *Irodalom* című összeállításában kell felsorolni.

Az irodalomjegyzéket külön lapra kell gépelni, s azt közvetlenül a dolgozat szövegrésze után kell a kéziratba beiktatni. Benne az egyes munkákat hivatkozási számuk sorrendjében kell felsorolni. Itt a hivatkozási számot nem kell zárójelbe tenni. A folyóirat címét (ez dőltten szedendő) egy vonallal, az évfolyam számát (ez félkövéren szedendő) két vonalkával alá kell húzni. Példák:

1. DIERKS, K.: Windberechnung einer hyperbolischen Paraboloid-Schale. *Der Bauingenieur* 37 (1962), 258—262.

2. BÖLCSKEI, E.—DOMJÁN, J.: Foundations with Small Settlement. *Acta Techn. Hung.* 33 (1961), 179—194.

3. DULÁCSKA, E.: Vashbeton dongahéjak számítása. *VI. Oszt. Közl.* 30 (1962), 19—37.

4. ZILL, W.: Vermessungskunde für Bauingenieure. 1. Aufl. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1958.

5. PELIKÁN, J.: Tartószerkezetek. Tankönyvkiadó, Budapest 1951.

6. BALOGH A.: Nagyteljesítményű rendszerek torziós vizsgálata. *Műsz. Tud.* 41 (1968), 94—100.



## Az Irodalom rovat megjelölése

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| angol nyelvű szövegben:   | REFERENCES    |
| német nyelvű szövegben:   | SCHRIFTTUM    |
| francia nyelvű szövegben: | BIBLIOGRAPHIE |
| orosz nyelvű szövegben:   | ЛИТЕРАТУРА    |

## 23. Táblázatok

A dolgozat ne tartalmazzon túl sok táblázatot. A táblázatokat úgy kell megszerkeszteni, hogy álló helyzetben elférjenek, tehát szélességi méretük ne legyen 12,5 cm-nél nagyobb.

A táblázatokat római sorszámozással és rövid, de kifejező címmel kell ellátni. Pl.:

### II. táblázat

#### *A pontos és közelítő nyomatkértékek*

A táblázatokat nem szabad a szöveglapokra írni, hanem minden táblázatot külön lapra kell gépelni.

A dolgozat szövegében minden táblázatra legalább egyszer hivatkozni kell. A táblázatok célszerű helyét a kézirat bal oldali szegélyén (margóján) ... táblázat keretbe foglalva meg kell jelölni.

A táblázatban előforduló mennyiségek dimenzióját nem a táblázat címében, hanem a táblázat fejrovatában kell megadni.

A táblázatokat tartalmazó lapokat az Irodalomjegyzéket követően kell a kézírathoz csatolni.

#### A Táblázat szó megjelölése

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| angol nyelvű szövegben:   | Table   |
| német nyelvű szövegben:   | Tafel   |
| francia nyelvű szövegben: | Tableau |
| orosz nyelvű szövegben:   | Таблица |

A táblázatokat tartalmazó lapokat az Irodalomjegyzéket követően kell a kézírathoz csatolni.

## 24. A lábjegyzetek

Műszaki tanulmányokban a lábjegyzeteket lehetőleg kerülni kell. Ez a megjegyzés nem vonatkozik a dolgozat címlapján alkalmazandó, a szerző(k) címadatait tartalmazó lábjegyzetre.

## 25. Az ábrafeliratok

Az ábrafeliratokat az ábraszámok sorrendjében külön lapra kell összegyűjteni pl. a következőképp:

1. ábra Az  $(x, y, z)$  koordinátarendszer
2. ábra A terhelő erők diagramjai: a) állandó terhek, b) esetleges terhek
3. ábra A pontos ( $M$ ) és közelítő ( $M^*$ ) nyomatkértékek

Az ábrák feliratait tartalmazó lapot *Ábrafeliratok* megjelöléssel az ábralapok és táblázatlapok után kell a dolgozathoz csatolni.

## 26. Az idegen nyelvű fordítások

A műszaki dolgozatok szerzői dolgozatuknak idegen nyelvre való lefordításakor működjenek együtt a szakfordítókkal, és gondosan ellenőrizzék a fordítást, főként az alkalmazott szakkifejezések helyességét. Kívánatos, hogy a fordító által készített kéziratba maguk a szerzők rajzolják be a képleteket.

A dolgozat idegen nyelvű fordításában a szövegrész végén a következő rovatok legyenek:

Fordította:

Lektorálta:

Látta a szerző:

cím, telefonszám

cím, telefonszám

cím, telefonszám

## 27. A kéziratok korrektúrája

A szerkesztőség a beküldött kéziratokról a nyomdai korrektúra után általában két levonatot küld a szerzőknek: hasáblevonatot és tördelt levonatot.

A levonatokon szükséges korrekciókat a szerző haladéktalanul végezze el, s a levonatot három napon belül juttassa vissza a szerkesztőséghez. A korrekciót a 3491-59 MSZ szerint kell elvégezni.

A korrekció általában csak a szedési hibák kiigazítására szorítkozzék. A kézirattól eltérő szövegmódosítások költségét a nyomda a szerzői tiszteletdíjből vonhatja le.

A szerző a szedési hibákat kék színnel korrigálja, az esetleg szükséges szövegmódosításokat piros színnel tüntesse fel.

A szerző a korrektúra megtörténtét a kézirat első oldalán kézjeggyével igazolja, egyúttal megjelöli a levonat visszaküldésének napját is.

A korrektúrára vonatkozó különleges megjegyzéseket, valamint azt, hogy a dolgozat nyomható, a levonat első lapjának felső szegélyén kell feltüntetni.

## 28. A vonatkozó irodalom

A szakdolgozatok kéziratára vonatkozólag számos hazai szabvány és kiadvány látott napvilágot. Ezek jegyzékét, Dr. TERPLÁN Zénó egyetemi tanár ide vonatkozó összeállítását felhasználva, az alábbiak tartalmazzák.

### a) Magyar szabványok:

- 244—55 Fizikai és műszaki egyenletek írásmódja
- 1701—62 Klisérajz, klisékép
- 2380—57 Algebrai jelölések
- 3491—59 Nyomdai korrektúrajelek és alkalmazásuk

- 3495—56 A gépírás szabályai
- 3497—57 Bibliográfiai hivatkozás
- 4671—59 Hőtechnikai mennyiségek, elnevezése, jelölése, és mértékegységei
- 4899—54 Általános matematikai jelölések
- 4900—55 Fizikai mennyiségek elnevezése és jelölése
- 9651—62 Nyomdai kézirat
- 16351—60 Képletek, egyenletek szedése
- 16352—60 Nyomtatott matematikai és azokkal rokon műszaki jelek alakjai és méretei
- 23901—55 Vektor-, tenzor- és differenciálgeometriai jelölések
- 23902—55 A matematikai analízis jelölései

b) *Kiadványok:*

1. TARNÓCZY T.—TERPLÁN Z.: Vezérfonal műszaki előadónak és szerzőknek. A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványa, Budapest 1949.
2. TERPLÁN Z.: A műszaki mértékrendszer, egyenletírásmódok és néhány betűjel. *A Nehézipari Műszaki Egyetem Gépelemek Tanszékének Közleményei*, 46. sz.
3. LINDE, V. V.: Milyen legyen egy tudományos cikk? *Magyar Textiltechnika* 7 (1954), 154.
4. REGŐCZI, E.: Lapunk kéziratának nyelve és külalakja *Geodézia és Kartográfia* 12 (1960), 295—298.
5. DEÁK I.-né—KISMARTY L. (szerk.): Műszaki könyvek kéziratalkészítése és korrektúrája. (Írták: GARA E., KISMARTY L., KOROM F., KULCSÁR A., ORDÓDY J., PAPP A., SZILÁGYI B. és VÁRHEGYI I.). Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961.
6. ORDÓDY J.—VISSI G.: Kéziratgépelési útmutató műszaki és tudományos kiadványokhoz, 3. kiadás. Műszaki Kiadó, Budapest 1961.
7. RÁNKI A.: Természettudományi és műszaki rövidítések, jelek, jelölések. Tankönyvkiadó, Budapest 1958.
8. SZÉKELY A.: A korrektúrajelek alkalmazása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961.
9. CSONKA P.: A szakcikkek kéziratáról. Irányelvek az *Acta Technica* és *Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei* munkatársai részére. VI. Osz. Közl. 31 (1962), 471—481.
10. PENTSY J. (szerk.): A műszaki könyv írása és szerkesztése. Útmutató szerzők, fordítók, lektorok és szerkesztők számára. Műszaki, Könyvkiadó, Budapest 1963.

*A szerkesztőség*







A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Merkly László

A kézirat nyomdába érkezett: 1970. IV. 14. — Terjedelem: 22,4 (A/5) ív

70.69532 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György



**48,— Ft**

# MŰSZAKI TUDOMÁNY

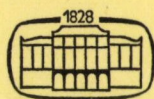
---

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

43. KÖTET

3—4. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1970

MŰSZ. TUD.

# MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

BARTA ISTVÁN, BÖLCSKEI ELEMÉR, GESZTI P. OTTÓ,  
LÉVAI ANDRÁS

43. KÖTET 3—4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST V., MÜNNICH FERENC UTCA 7  
KIADÓHIVATAL: BUDAPEST V., ALKOTMÁNY UTCA 21

A *Műszaki Tudomány* változó terjedelmű füzetekben jelenik meg. Négy füzet alkot egy kötetet.

A kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudomány  
Budapest V., Münnich Ferenc utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbbításáért nem vállal.

A *Műszaki Tudomány* előfizetési ára kötetenként 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest V., Alkotmány utca 21.) Pénzforgalmi jelzőszám 215—11488, külföldi megrendelések a „Kultúra” Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest I., Fő utca 32., Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 43-790-057-181) útján eszközölhetők.



## CSANÁDI GYÖRGY

AZ MTA RENDES TAGJA

CSANÁDI György 1905-ben született Lai-  
bachban. Mérnöki oklevelet 1927-ben, közgazda-  
sági-mérnöki oklevelet 1929-ben a budapesti Mű-  
egyetemen szerzett, ahol már 1927-től kezdve  
ZELOVICH Kornél tanszékén tanársegédként mű-  
ködött.

1929-től a Magyar Államvasutak építési és  
pályafenntartási szakszolgálatnál mint mérnök  
különböző építési és fenntartási munkákat ter-  
vezett, irányított.

A felszabadulás után a vasút helyreállí-  
tásában, a vasút üzemének megindításában vég-  
zett eredményes munkát, majd a pécsi vasút-  
igazgatóságot szervezte újjá. Vasúti szakisme-  
retei és addigi tanulmányai alapján ebben az időszakban kezdte meg a szo-  
cialista vasút tudományos alapjai feltárásának és rendszerbe foglalásának  
úttörő munkáját, melyet a Közlekedésügyi Minisztériumban, 1947-ben tör-  
tént áthelyezése után, mint a Vasúti Műszaki Osztály vezetője tovább folyta-  
tott. A szocialista vasúti közlekedés kialakításának egyik alapfeltételében, a  
megfelelő szervezeti forma kiépítésében döntő szerepet játszott. 1949-ben  
a Vasúti Főosztály vezetőjévé, majd a MÁV vezérigazgatójává nevezték ki.

A pályafenntartás korszerűsítése terén jelentős eredményeket ért el.  
Tanulmányozta, elemezte a *korszerű vontatási nemek*: a villamosítás és diese-  
lesítés műszaki, üzemi, gazdasági paramétereit és ezek alapján kijelölte azokat  
a kereteket, amelyek e vontatási rendszerek alkalmazásának határsávjait  
meghatározzák. E részletproblémák mellett feltárta azokat a *műszaki felada-  
tokat* is, amelyek a vasúti közlekedés rejtett tartalékait mozgósították.

A *vasútüzem teljesítőképességének fokozására* alkalmas új üzemviteli  
módszerek keretében a MÁV 1950-es években rendkívül hiányos mozdony- és  
kocsiparkjának minél jobb kihasználását döntően befolyásoló problémakört  
— a *tehervonatok sebességének, a mozdony vonóerő-kihasználásának és a teher-*



*Csánadi Gy*

*kocsik várakozási idejének összefüggéseit* — kutatta és a hazai viszonyokra meghatározta a tehervonatok optimális sebességét.

A vasúti üzem további ismeretanyagának feltárása és szintetizálása terén végzett munkássága már szorosan összefüggött az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Vasútépítés és Üzemi Tanszékén 1951-ben egyetemi tanárrá történt kinevezésével.

Mint egyetemi tanár tovább folytatta kutatásait az *új vasúti vontatási rendszerek* bevezetésének határterületei, a magyar vasútnál követendő műszaki és gazdasági elemek feltárása terén.

1955-ben „*A járműpark gazdaságos üzemeltetésének egyes kérdései a vasúti áruszállításnál*” című doktori disszertációja alapján a Tudományos Minősítő Bizottság a műszaki tudományok doktorává nyilvánította.

Új utat mutató, alapvető tudományos megállapításai nagy érdeklődést keltettek és sikereket értek el *nemzetközi szinten* is. 1959-ben Prágában a Csehszlovák Tudományos Akadémián, majd a bukaresti és temesvári Műszaki Egyetemeken tartott előadásaiiban ismertette eredményeit. A szocialista országok vasútainak Vasúti Együttműködési Szervezete (OSZZSD) a közlekedéspolitika tudományos alapjaira vonatkozó elvi megállapításait megvitatás után további munkájában irányadónak fogadta el. „A közlekedéstudomány, a közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés összefüggései a szocialista és a tőkés társadalmi-gazdasági rendszerben” című tanulmányát 1958-ban, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává történt megválasztása után, székfoglaló előadásban ismertette.

CSANÁDI György tudományos munkássága mellett széles körű, eredményes tudományszervező tevékenységet fejtett ki. 1951 óta a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya keretében megszervezett Közlekedéstudományi Bizottság elnöke.

A hazai közlekedéspolitika alapjait megteremtve, további munkásságát azoknak a problémáknak feltárására koncentrált, amelyek az egységes közlekedés két fő ágazatának a vasúti és közúti közlekedés műszaki, üzemi gazdasági kapcsolatainak, kölcsönhatásainak tudományos elemzését igényelték. A közút és a korszerű közlekedés c. tanulmányában a közúti közlekedés helyét és szerepét határozta meg; a városi közlekedés fejlesztésének irányait az egységes közlekedéspolitika koncepciója szempontjából foglalta össze.

A legutóbbi években CSANÁDI György Európában az első között dolgoztatott ki olyan közlekedéspolitikai koncepciót, amely a tudomány és gyakorlat egységét megteremtve hosszú távlatra ad iránymutatást a hazai közlekedés fejlesztésére.

CSANÁDI Györgyöt értékes tudományos munkássága elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlése az Akadémia rendes tagjává választotta.

*Turányi István*

## CSANÁDI GYÖRGY TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

## I. Könyvek:

1. A MÁV átalakulása szocialista vasúttá. Vasúti Szakkönyvtár, 1. sz. 1950
2. A közlekedési pályák építése és fenntartása gépesítésének általános kérdései. Közlekedési pályák építésének és fenntartásának gépesítése. Közlekedési Kiadó, Budapest 1954
3. Vasúti üzem. Tankönyvkiadó, Budapest 1954
4. Közlekedéspolitika. Tankönyvkiadó, Budapest 1965
5. A vasúti üzem egyes kérdései. Tankönyvkiadó, Budapest 1965

## II. Tanulmányok:

1. A Magyar Államvasutak problémái. *Közlekedési Közlöny*, 4 (1948)
2. Műszaki feladatok a vasúti közlekedés rejtett tartalékainak feltárásánál. *Magyar Technika*, 4 (1951)
3. A tehervonatok menetsebességének problémája. *Közlekedéstudományi Szemle*, 1 (1951), 14—24.
4. A tehervonatok sebességének, a mozdony vonóerő-kihasználásának és a teherkocsik várakozási idejének gazdasági összefüggései. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 7 (1952), 327—349
5. A Magyar Államvasutak villamosításának időszzerű kérdései. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 8 (1953)
6. A vasút tízéves fejlődése. *Közlekedéstudományi Szemle* 5 (1955), 127—136
7. A közlekedés. A magyar tudomány tíz éve 1945—1955. Akadémiai Kiadó, Budapest 1955, 345—349
8. A műszaki fejlesztés irányelvei a Szovjetunió közlekedésében. *Közlekedéstudományi Szemle* 6 (1956), 121—127
9. A magyar közlekedéstudomány fejlődése. *Közlekedéstudományi Szemle* 6 (1956), 257—262
10. A közút és a korszerű közlekedés. *Magyar Tudomány* (1958), 67—72
11. Vom Gesetz über die anteilmäßige Entwicklung der Verkehrsträger. *Verkehr* 14 (1958), 1749—1750
12. Az arányos fejlődés törvényének érvényesítése közlekedésünkben. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 23 (1959), 325—360. *Közlekedéstudományi Szemle* (1958) 505—526
13. Theoretische und praktische Fragen zur Verkehrsteilung in Ungarn. *Verkehr* 15 (1959), 1959—1606
14. Fragen der Verkehrsaufteilung in ungarischen Verkehrswesen. Az UIC részére német és francia nyelven készült kiadvány.
15. A közlekedési ágazatok koordinációjának elméleti és gyakorlati kérdései. OSZSZD részére készült tanulmány 1960.
16. A közlekedéstudomány, a közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés összefüggései a szocialista és a tőkés társadalmi-gazdasági rendszerben. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 25 (1960), 3—26
17. A magyar közlekedéstudomány ötéves és távlati tervei. *Magyar Tudomány* (1961)
18. A közlekedés fejlődése a közlekedéspolitika tükrében. *ÉKME Tudom. Közleményei* 6 (1960), 277—299
19. Der Ungarische Verkehrswissenschaftliche Verein. *VERKEHR* (1963)
20. Stand und Entwicklungstendenzen der Ungarischen Staatsbahnen. *Deutsche Eisenbahntechnik* (1964)
21. Die Grundlagen eines zeitgemässens Verkehrs in Ungarn. *Verkehr* (1967) 281





## KOVÁCS K. PÁL

AZ MTA RENDES TAGJA

Kovács K. Pál 1907-ben született Budapesten. Ugyanitt 1930-ban gépészmérnöki oklevelet szerzett. 1930-tól 1946-ig a Ganz Villamossági Gár próbatermében dolgozott, ahol forgógépek, transzformátorok és készülékek fejlesztésével, valamint üzembehelyezési problémáival foglalkozott. Ez idő alatt gyakorlatilag ő vezette a gár által készített összes nagyobb hazai és külföldi gépegységek üzembehelyezését. 1940-ben a Műszaki Egyetemen doktori oklevelet szerzett, 1946-ban magántanárrá habilitálták. 1946-tól 1951-ig a Magyar Állami Szénbányák Villamos Erőművek Főosztályának, majd ennek az ÁVIRT-ba történt beolvadása után ez utóbbi vállalat Műszaki Osztályának vezetője volt. Az ÁVIRT átszervezése után a Nehézipari Minisztérium Villamosenergia Főosztály Műszaki Osztályának vezetője lett; itt az ő közreműködésével készültek azok az első 10 éves tervek, melyek az erőmű- és távvezetéképítési programhoz kapcsolódtak. 1951-től 1959-ig, mint a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosgépek Üzemtana Tanszékének tanszékvezető professzora, a stacioner és tranziens üzemre vonatkozó korszerű módszereknek az oktatás kereteibe való bevezetésével szerzett különleges érdemeket. 1959-től 1961-ig az Erőmű Tröszt Villamos Osztályának munkatársa, 1961-től 1963-ig a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai Kutatóintézetének osztályvezetője, 1964-től 1969-ig pedig a Villamosenergiaipari Kutató Intézet igazgatója volt. Igazgatói tevékenysége mellett a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának Elektrotechnika Tanszékén fejtett és fejt ki rendszeres egyetemi oktató tevékenységet, mint az egyetem címzetes professzora. Jelenleg féléves időtartamra a Boulder-Colorado-i Egyetem meghívott professzora. 1949-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező taggá választotta, 1952-ben megkapta az Elektrotechnikai Egyesület legnagyobb szakmai díját, a Zipernowsky-díjat, 1953-ban pedig elnyerte a Kossuth-díjat. A Magyar Elektrotechnikai Egyesület elnökeként kifejtett munkássága elismerésül 1956-ban Munka



*Dr. Kovács K. Pál*



Érdemrenddel tüntették ki. A zürichi egyetemen egy szemeszteren át mint vendégtanár működött, de előadásokat tartott a stockholmi, aacheni, hannoveri kairói, pozsonyi, prágai és bukaresti egyetemeken is.

Munkássága elsősorban az erősáramú elektrotechnika, a forgógépek - elméletének területére terjed ki. Számos publikációja jelent meg. Ezek főleg az indukciós motorok elméletével, azok különleges alkalmazási módszereivel, üzemviteli és szabályozási problémáival, másrészt a szinkron gépekkel foglalkoznak. Publikációi között külön is megemlítendő az operátorszámításnak az erősáramú elektrotechnikában való alkalmazásával, a különböző összetevők alkalmazási kérdéseivel, valamint a villamosenergia-kooperáció és az energia-gazdálkodás elvi problémáival foglalkozó tanulmányok. Könyvei közül különösen kiemelkedő a „Váltakozó áramú gépek tranziens folyamatai” című mű, amelyet RÁCZ Istvánnal együtt írt. Ezt több nyelvre is lefordították.

KOVÁCS K. Pál széles körű tudományos tevékenysége következtében az erősáramú elektrotechnika területén az egyik legjobban ismert és nemzetközileg is elismert magyar tudós. Könyveit, publikációit világszerte rendszeresen idézik. Külön nagy érdeme, hogy a korszerű elektrotechnikai módszerek alkalmazása terén értékes eredményeket felmutató hazai iskolát alapított.

KOVÁCS K. Pált értékes tudományos munkássága elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlése az Akadémia rendes tagjává választotta.

## KOVÁCS K. PÁL TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

### I. Könyvek:

1. Villamos gépek üzemtana I. Aszinkron gépek. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest 1952, 2. kiadás 1955, 3. kiadás 1959
2. Váltakozó áramú gépek tranziens folyamatai (RÁCZ Istvánnal) Akadémiai Kiadó, Budapest 1954
3. Betriebsverhalten von Asynchronmaschinen. Verlag Technik, Berlin 1957
4. Szimmetrikus összetevők (GESZTI Ottóval és VAJTA Miklóssal). Akadémiai Kiadó, Budapest 1957
5. Transiente Vorgänge von Wechselstrommaschinen (RÁCZ Istvánnal). Akadémiai Kiadó, Budapest 1959
6. Műszaki Értelmező Szótár, Általános elektrotechnika. Akadémiai Kiadó, Budapest 1958
7. Műszaki Értelmező Szótár, Villamos gépek. Akadémiai Kiadó, Budapest 1959
8. Symmetrische Komponenten in Wechselstrommaschinen. Birkhäuser Verlag, 1962
9. Váltakozó áramú gépek tranziens folyamatai (RÁCZ Istvánnal)

### II. Tanulmányok:

1. Villamos erőátvitel korszerű kérdései. *Természettudományi Közlöny* (1933) ápr. száma, 1-14
2. Stromvektordiagramm der Brennschaltung von Siemens. *Archiv f. Elektrotechnik* **29** (1935), 508-512
3. Fejezetek az indukciós motorok elméletéből (Műszaki doktori értekezés). Közlekedési Nyomda 1938
4. Egyfázisú aszinkron motorok forgórészének veszteségéről. *Elektrotechnika* **32** (1939), 207-210

5. Egyfázisú aszinkron gépek és átalakítók. *Elektrotechnika* 32 (1939) 1–18
6. Über die Stromwärmeverluste im Läufer des einphasigen Asynchronmotors. *Bull. SEV* 30, 644–657
7. Villamostengely. *Elektrotechnika* 36 (1943), 135–142
8. Elektrische Welle in Reihenschaltung. *Bull. SEV* 33 (1942), 443–450
9. Induktionsregler als Compoundtransformator. *Bull. SEV.* (1946), 427
10. Hazai erőművek és távvezetékek jelenlegi helyzete. Hazai erőművek kiépítése. a) A Magyar Állami Szénbányák villamos műveinek 3 éves terve (Tervcím alatt), b) A villamosenergia-termelés beruházási és termelési terve. (Tervcím alatt), *Magyar Technika* 2 (1947), 2. sz.
11. Magyarország villamosítása. *Magyar Energiagazdaság* (Magyar Technika melléklete) 1 (1948), 1. sz., 96–101
12. Svédország energiaellátása. Beszámoló svédországi tanulmányútról. *Magyar Energiagazdaság* (1949), 1. sz., 9–14
13. Hazai hőerőművek létesítésénél felmerülő kérdések *Magyar Energiagazdaság* (1949), 5/6 sz., 11–19
14. Magyar Villamosítás. *Magyar Technika* (1948) 4. sz. (Magyar Energiagazdaság mellékletben)
15. A villamosenergia-termelés és elosztás időszerű kérdései hazánkban. MTA VI. Oszt. Köz. (1951), 541. Kivonatát közölte a *Szabad Nép* 1950. dec. 22.-i sz. és az *Elektrotechnika* 44 (1951) 97–107
16. Calculation of the Imposed Failure of Machine Units of Cooperating Electric Power Stations. *Acta Techn. Hung.* (1951)
17. Az ötéves terv anyag- és energiakérdései. MTA VI. Oszt. Köz. (1951)
18. Az operátorszámítás alkalmazása az erősáramú elektrotechnikában. *Elektrotechnika* 44 (1951)
19. Über einige Fragen der Theorie des Asynchronmotors mit Doppelkäfigläufer. *Acta Techn. Hung.* 4
20. Reconstruction of the Electrical Power Plans of Hungary and Plans for the Future Development. De E. WILCZEK and KOVÁCS K. Pál. Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques a Haute Tension. 1952
21. Földvezetési energiaszolgáltatási rendszer. MTA VI. Oszt. Köz. 4 (1952)
22. Aszinkron motorok újrendszerű fordulatszám szabályozása. *Elektrotechnika* 44 (1951)
23. A földvezetési távvezeték elvi kérdései. (GESZTI Ottóval) *Elektrotechnika* 45 (1952)
24. A műszaki felsőoktatás új útjai. *Elektrotechnika* 45 (1952)
25. Pulsierendes Moment im asymmetrischen Betrieb von Wechselstrommaschinen. *Archiv f. Elektrotechnik* 42 (1955), 99–126
26. Lükettő nyomaték váltakozó áramú gépek aszimmetrikus üzemében. MTA VI. Oszt. Köz. 17 (1955)
27. The Use of Alfa and Beta Components for the Analysis of the Unbalanced Operation of Asynchronous Motors. *Acta Techn. Hung.* 13
28. Grobanlauf von Asynchronmotoren. *Acta Techn. Hung* (1953)
29. A reluktanciamotor elméletének néhány kérdése. *Elektrotechnika* 47 (1954)
30. Új feladatok előtt. *Elektrotechnika* 47 (1954)
31. Messung der gesättigten Wärte der Synchronen Längs- und Querreaktanzen im Stillstand. *Elektrotechnik u. Maschinenbau* (1957)
32. Aszinkron motorként indított szinkronmotorok nyomatéka félfordulatszám közelében (RÁCZ Istvánnal). *Elektrotechnika* (1957)
33. Asynchronbetrieb von Turbogeneratoren (CSÁKI Frigyessel). *Technische Rundschau* (1957)
34. Asynchronous Running of Turbo-Alternators (CSÁKI Frigyessel). *CIGRÉ közlemények* 1958
35. Einsattelung der Drehmomentkurve von Synchronmotoren beim asynchronen Anlauf (RÁCZ Istvánnal) *Bull. SEV* (1957), 14. sz.
36. A gyengeáramú technika szerepe az erősáramú elektrotechnikában. *Elektrotechnika* (1957)
37. A magyar erősáramú elektrotechnika 50 éve. *Elektrotechnika*, (1951)
38. A villamosenergiagazdálkodás néhány kérdése 10 éves villamosítási tervünkben. *Elektrotechnika* (1953)
39.  $\alpha$  és  $\beta$  összetevők alkalmazása aszinkron motorok aszimmetrikus üzemének vizsgálatára. *Elektrotechnika* (1955)
40. Symmetrische Komponenten der Momentanwerte, oder Vektoren, d. elektrischen Größen, *Archiv f. Elektrotechnik* (1959)
41. Anlass- und Bremswärme von Asynchronmaschinen unter asymmetrischen Betriebsverhältnissen. *Elektrotechnische Zeitschrift* (1961)

42. Das Anlassen und Regeln von Schleifringasynchronmotoren mit asymmetrischen Läuferwiderstand. *Acta Techn. Hung.* (1961)
43. Mint 28. Orosz nyelven *Elektrotechnika Novocserkaszk* (1961)
44. Lösung regelungstechnischer Fragen von Asynchron- und Synchronmaschinen mit Analogrechnern. *Regelungstechnik* (1962)
45. Analóg számítógép programozása aszinkron motorok tranziens folyamatainak meghatározására. *Elektrotechnika* (1962)
46. Das Programmieren von Asynchronmaschinen auf Analogrechner unter Berücksichtigung der Sättigung. *Archiv f. Elektrotechnik* (1962)
47. Vezérelt elemekkel szabályozott aszinkron szervomotor szabatos analóg leképzése. *Elektrotechnika* (1963)
48. Állórészen tirisztorral vezérelt háromfázisú aszinkron motor szabatos analóg leképzése. *Acta Techn. Hung.* (1964)
49. Über Asynchronmaschinen mit asymmetrischen Läufer. *Archiv f. Elektrotechnik* (1964)
50. Új aszinkron szervomotor (HORVÁTH Jánossal). *Műszeripari Kutató Intézet Közleményei* (1963)
51. Messung des Schlupfes von Asynchronmaschinen mit einer Spule, *ETZ A* (1965)
52. Über Asynchronmaschinen mit einachsigen Läufer. *Acta Techn. Hung.* (1965)
53. Aszinkron motorok indítási folyamatáról. *Elektrotechnika* (1965)
54. Über Pendelungen von Asynchronmaschinen. XI. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TH Ilmenau 1966.
55. Belső ellenállás nélküli aszinkron motorok (GÖNTÉR Gáborral)
56. Résultats acquis et tendances de la recherche dans l'industrie hongroise de l'énergie électrique. Párizsi Magyar Tudományos és Műszaki Napok 1968.
57. Über die Möglichkeit einer Asynchronmaschine mit supraleitendem Leiterwerkstoff. *ETZ A* 90 (1969), 162–164

## SZÉCHY KÁROLY

AZ MTA RENDES TAGJA

SZÉCHY Károly 1903-ban született Budapesten. Egyetemi tanulmányait a budapesti Műegyetemen végezte. Itt szerzett mérnöki oklevelet 1925-ben.

A Műegyetem elvégzése (1925) után tanársegédként működött, majd egy évi (1927—28) külföldi ösztöndíjat kapott. 1928—32 közt alkalmazott magánmérnöként, illetve építésvezetőként dolgozott. 1932-ben a Kereskedelmi Minisztérium Hídosztályára került, ahol először a Boráros-téri híd, később a Margit-híd tervezésében és építésében vett részt, majd az Óbudai híd építésének és tervezésének központi irányítója lett. Tőle származnak a híd általános tervei és mai elhelyezése. 1933-ban jogi, 1944-ben műszaki doktori képesítést szerzett. 1945. április végén a Közlekedésügyi Minisztérium Hídosztályának vezetője lett, tevékenyen irányítván a felrobbantott hidak, közöttük a budapesti Dunahidak újjáépítésének megszervezését és végrehajtását. 1950-ben megbízást kapott az új budapesti földalatti vasút tervezésének és építésének megszervezésére és vezetésére. Ezt a munkát egészen az építkezés 1954-ben pénzügyi okból történt ideiglenes szüneteltetéséig eredményesen irányította. 1954-től 1957-ig a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium Műszaki Tanácsának vezetője, majd 1957-től az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemen az Alapozás és Alagútépítés tanára.

Fenti mérnöki munkássága mellett kiterjedt szakirodalmi és tudományos munkásságot fejtett ki. Ennek során hazai és külföldi folyóiratokban mintegy 150 különféle tanulmánya látott napvilágot. *Alapozás* c. szakkönyve magyar nyelven két kiadásban, német nyelven egy kiadásban jelent meg. *Alapozási hibák* c. munkája magyar nyelven két kiadásban, ezenkívül 7 idegen nyelven jelent meg, végül *Alagútépítéstan* c. munkájának angol, francia és német nyelvű kiadásán kívül folyamatban van a spanyol és japán nyelvű kiadása is.

Számos nemzetközi hídépítési és talajmechanikai konferencián vett



*Széchy K*



részt, ahol tanulmányokkal, előadásokkal szerepelt. A Nemzetközi Híd- és Magasépítési Egyesület magyar csoportjának, továbbá a Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület magyar csoportjának elnöke. Számos külföldi egyetemen és tudományos intézetben tartott meghívásra előadást (Csehszlovákiában, Lengyelországban, Szovjetunióban, Németországban, Kanadában, majd a skandináv államokban). 1958-ban vendégprofesszorként két ízben 2—2 hónapig a Gizai Egyetemen, 1964-ben az Egyesült Arab Köztársaságban és 1968. II. felében egy fél évig a Western Ontario Egyetemen, Kanadában működött.

Tudományos munkássága a hídépítés területén az öszvértartós szerkezetek, a korszerű pályaszerkezetek és szabad szerelések, valamint a különféle hídalapozási szerkezetek (pl. szembetámasztott hídfők) vonatkozásában adott újat. Jelentős kísérleteket és gyakorlati kutatásokat végzett a talajvízszintsüllyesztés, a pneumatikus alapozás, a cölöpalapozás (csőcölöpök, vert cölöpök igénybevétele stb.) és a talajcsere területén, tanulmányozta a talpfelület alakjának hatását, továbbá a süllyedések eloszlását.

Föld alatti építmények tekintetében a közetnyomások és néhány újszerű szerkezet (pajzskiszűrő kamrák, merevtárós építés) továbbá a térszinsüllyedések területén elért új tudományos és gyakorlati eredményei említethetők.

Tudományos munkásságának elismeréseként 1952-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává választotta, majd 1966-ban a helsinki Műegyetem tiszteletbeli doktori címmel tüntette ki. Számos nagyszabású híd- és mélyépítési munkában működött közre mint szakértő, így az Egyesült Arab Köztársaságban, Kanadában és Németországban, valamint a földalatti vasútépítés, az Erzsébet-híd építése és más nagyobb mélyépítési munkák hazai megoldásában.

1947. márciusában a Köztársasági Érdemrend. tiszti keresztjével (átcserélve Népköztársasági Érdemrend IV. fok.), 1948. március 15-én pedig Kossuth-díjjal tüntették ki. Ugyanezen év júniusában kiváló munkás, a tárca élmunkás és újító körének elnöke, 1952-ben pedig a közlekedés kiváló dolgozója, 1966-ban pedig az oktatás kiváló dolgozója lett. Az Árpád-híd megnyitása alkalmával 1950-ben a Munka Érdemrend arany fokozatát kapta, majd pedig Budapest felszabadulásának 25. évfordulója alkalmával a budapesti Duna-hidak helyreállítása és a Földalatti Vasút építésének megszervezése körül kifejtett elhatározó jellegű tudományos és gyakorlati munkássága elismerésül a Pro Urbe arany emlékérmét.

SZÉCHY Károlyt értékes tudományos munkássága elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlése az Akadémia rendes tagjává választotta.

*Bogárdi János*



## SZÉCHY KÁROLY TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

## I. Könyvek:

1. Alapozás I. és II. 1. kiadás Közlekedési és Tankönyvkiadó 1952
2. Alapozás I. átdolgozott új és bővített kiadás. Műszaki Kiadó, Budapest 1957
3. Alapozás II. átdolgozott új és bővített kiadás. Műszaki Kiadó, Budapest 1963
4. Grundbau I. Springer Verlag, Wien 1962
5. Grundbau II. Springer Verlag, Wien 1965
6. Alapozási hibák. Műszaki Kiadó, Budapest 1958
7. Alapozási hibák 2. bővített kiadás. Műszaki Kiadó, Budapest 1963
8. Alapozási hibák orosz nyelven. Gosztroizdat, Moszkva 1960
9. Foundation Failures. Concrete Publ. London 1962
10. Gründungsschäden Bauverlag, Wiesbaden 1963
11. Fallas en Fundaciones Editora Techniciencia, Montevideo 1964
12. Accidents des Fondations. Dunod, Paris 1966
13. Alagútépítéstan Tankönyvkiadó, Budapest 1962
14. The Art of Tunnelling Akadémiai Kiadó, Budapest 1966. és 1967
15. Tunnelbau Springer Verlag, Wien 1969

## II. Tanulmányok:

## a) Az alapozás területéről

1. Talajvízszint-süllyesztéses alapozások Magyarországon *Vízügyi Közlemények* (1934)
2. Pneumatikus alapozás *Vízügyi Közlemények* (1935)
3. Korszerű hídfőszerkezetek *MTA Műsz. Öszt. Közl.* (1953)
4. Hídfők mögötti töltéscsatlakozások Mérn. Továbbképző 1955
5. Beitrag zur Theorie der Grundwasserabsenkungen. Gedenkbuch für Prof. Dr. J. Jáky Akadémiai Kiadó, Budapest 1955
6. Die neue Entwicklung der Druckluftgründungen in Ungarn. *Öst. Bauzeitschrift* (1956)
7. Süllyedésszámítások kritikája és adalékok a süllyedéseloszlás problémájához *ÉKME Tud. Közl.* (1957)
8. Contribution to the Applicability of Dricing Formulae. IV. Nemzetközi Talajmech. és Alapozási Konf. London III. kötet (1958)
9. The Bearing Capacity of Subsoil. Cairo, Univ. Press, 1958—59
10. Settlement analysis. Cairo, Univ. Press (1958—59)
11. Differential settlement. Cairo, Univ. Press, 1958—59
12. The Dewatering of Foundation Pits, by Ground-Water Lowering. Cairo, Univ. Press, 1958—59
13. Modern Theories in the Dimensioning of Anchored Sheet-Piling and of Excavation Struts. Cairo, Univ. Press, 1958—59
14. The Bearing Capacity of Piles. Cairo, Univ. Press, 1958—59
15. Theory of pile foundations. Cairo Univ. Press, 1958—59
16. Csőcölöpökkel végzett kísérletek *MTA Műsz. Tud. Öszt. Közl.* (1958)
17. Test with Tubular Piles. *Acta Techn. Hung.* (1959)
18. Zwei Beispiele von Gründungsfehlern *Bauplanung-Bautechnik* (1960)
19. Badania pali rurowych w gruntach piaszczystych *Archivum Inzynierli Ladowej*, Tom. VI. Warszawa (1960)
20. The Effects of Vibration and Driving upon the Voids in Granular Soils Surrounding a Pile. V. Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Kongr. Páris, 1961
21. Some Practical and Theoretical Questions of Grundwater Lowering. *Ind. Journ. of Power and River Valley Dev.* (1962)
22. Angenäherte Bestimmung des Gebirgsdruckes auf Grund einer statischen Analogie *Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.* Budapest 1963.
23. Cölöpök próbaterhelésének pontosabb kiértékelése. *ÉKME Tud. Ülészak Közleményei* (1963), 3. sz.
24. Kőzetnyomások közelítő meghatározása. *MTA VI. Öszt. Közl.* (1963)
25. Die Verteilung von Setzungen. Europäische Baugrundtagung, Wiesbaden (1963)

26. A More Exact Evaluation of Pile Test Loadings. *Symposium on Bearing Capacity of Piles*, Roorke, India (1964)
27. Investigation on the Effect of Contact Surface-Shape. *Seminar on Soil Mech. Found. Eng.* Lodz. (1964) jun.
28. A vasbeton cölöpök vasalása és a verési feszültegek meghatározása. *Mélyépítéstudományi Szemle* (1964)
29. Behaviour of Soil under Stress. *Indian Institute of Science*, Bangalore (1965)
30. Bestimmung der Stahlbewehrung und der Rammspannungen von Stahlbetonpfählen. *Acta Techn. Hung.* 50 (1965)
31. Determination of Economic Drilling Depth and of Driving Stresses in Reinforced Concrete Piles. *6th Int. Conf. on Soil Mech.*, Montreal, Proc. Vol. 2 (1965)
32. Chiby v zakládání staveb. Státní nakladatelství technické literatury, Prága 1966
33. Der Einfluß der Sohlflächenform von Streifenfundamenten auf die Tragfähigkeit und Spannungsausbreitung *VDI-Zeitschrift*, 1967
34. Approximative Determination of Rock Pressure on the Basis of a Statical Analogy. *Proc. of the 1st Congr. of the Int. Soc. of Rock Mechanics*, Lisboa 1966
35. Deformations Around and Below Driven and Vibrated Test Tubes. *Acta Techn. Hung.* 62 (1968)
36. A talpfelület alakjának hatása a sávalapok teherbírására és feszültségszétterjedésére. *ÉKME Tud. Közlemények*, 13 (1967)
37. A talajcsere szükséges méreteinek elméleti és gyakorlati meghatározása. *ÉKME Tud. Közlemények*, 13 (1967)
38. Experiments with Open-End Vibrated Tubes. *Periodica Polytechnica*, Budapest (1968)

b) az alagútépítés területéről:

39. Der Bau der neuen Untergrundbahn in Budapest. *Öst. Ingenieur-Zeitschrift* (1958)
40. Tests on Concrete Tunnel Linings. *Concr. and Constr. Engg.* (1959)
41. Zwei Beispiele von Gründungsfehlern *Bauplanung und Bautechnik* (1960)
42. Beitrag zur Gebirgsdruckverteilung um einen kreisförmigen Tunnelquerschnitt. *Österreichische Ingenieur-Zeitschrift* (1962)
43. Surface Settlements due to the Shield Tunnelling Method in Cohesionless Soils. *Proc. 3rd Conf. on Soil Mech. and Found. Eng.*, Budapest (1968)
44. Besonderheiten beim Bau der neuen Untergrundbahn in Budapest. *Österreichische Ingenieur-Zeitschrift* (1967)

c) a hídépítés területéről:

45. Fabetétes vasbetonszerkezetek. Mérnöki Továbbképző 1945
46. Közúti vashidak újszerű pályaszerkezetei. Mérnöki Továbbképző 1943
47. Újszerű hídszerkezetek. Mérnöki Továbbképző 1950
48. A varratképzés és a varratok alkalmazási módjai a tartószerkezetekben. Mérnöki Továbbképző 1946
49. The Application of Prestressing at Composit Bridges 3. *Int. Kongres f. Brückenbau u. Hochbau*, Liege, Schlussbericht, 1948
50. Modern Erection Methods of Steel Bridges in Hungary. *IV. Bridges Congr.* 1953
51. Neuere Methoden und Konstruktionen bei der Wiederherstellung von Strassenbrücke in Ungarn. *Bauplanung und Bautechnik* (1957)
52. Az óbudaí Árpád-híd építése. *Ép. és Közlekedéstudományi Közlemények* (1958)

## KÉZDI ÁRPÁD

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

KÉZDI Árpád 1919-ben született Komáromban. Mérnöki oklevelét a budapesti Műegyetemen 1942-ben szerezte meg, de már ezt megelőzőleg Jáky professzor mellett dolgozott mint gyakornok, az akkori Közlekedési és Vasútéptéti, majd Vasútéptéti és Földművek Tanszéken. További munkássága is ehhez a Tanszékhez fűződik, melynek vezetését Jáky professzor halála után 1951-ben már mint intézeti tanár vette át, majd 1961 óta mint egyetemi tanár látja el. 1950 óta előadja az Építőmérnöki Karon a Talajmechanika és a Földművek tárgyakat, valamint sorozatosan megszervezi és előadja ezen tárgyaknak enciklopédikus oktatását az Építészmérnöki Karon és a Földmérőmérnöki szakon is.



*Kézi Árpád*

KÉZDI Árpádot mint oktatót a világos, logikus, a figyelmet lebilincselő előadásmód, az előadott kérdések magas színtről való áttekintő és tudományos igényességű előadása, valamint a tudomány fejlődésével arányos, állandó továbbfejlesztése jellemzi. Mint tanár szigorú, de abszolút igazságos bíráló, aki kérdéseivel a lényegre érintő felkészültséget és annak megértését kutatja. Ezért méltán nyerte el már 1953-ban a *Felsőoktatás kiváló dolgozója* kitüntetését. Nagy érdeme, hogy megszervezte és biztosította az építőmérnök hallgatók rendszeres és kötelező laboratóriumi gyakorlatait, mellyel az oktatás gyakorlati hatékonyságát nagyban emelte. Az egyetemi oktatással nemcsak kari szinten, hanem mint tudományos rektorhelyettes 1961–65 között összegyetemi szinten is behatóan foglalkozott.

Oktatási tevékenysége az Egyetem falain kívül is egyre szélesebb körre terjed. Rendszeres előadója több Szakmérnöki tagozatnak és a Mérnöki Továbbképző Intézetnek, de évente többször tart előadásokat és új kutatási eredményekről szóló beszámolókat a Közlekedéstudományi Egyesületben, ahol a Talajmechanikai Szakosztály elnöke és a *Mélyépítéstudományi Szemle* szerkesztő bizottságának tevékeny tagja. Ezen munkássága elismeréseként

kapta 1960-ban a *Közlekedés kiváló dolgozója* kitüntetést, 1962-ben pedig az Egyesület *Jáky-díját*. Elismert szakértői tevékenysége útján állandó kapcsolatot tart fenn az iparral is.

Mindezek fölött azonban KÉZDI Árpád tudományágának, a Talajmechanikának hazánkban és külföldön egyaránt elismert, kimagasló tudományos művelője.

Tudományos munkásságát önálló és több esetben alapvető, a tudományt továbbfejlesztő önálló kutatások és eredmények, valamint a magyar és idegen nyelven megjelent szakdolgozatok és szakkönyvek egész sora jelzi. Nagyszámú szaktanulmánya jelent meg hazai és külföldi folyóiratokban, nemzetközi kongresszusi kiadványokban és számos könyvet írt, amelyek közül több idegen nyelven is megjelent.

Kutatásai a következő főbb alapvető témaköröket ölelték fel: 1. Földnyomás. 2. Stabilizált földutak. 3. Cölöpalapozások. 4. Talajfeszültségek, talajtörés mechanizmusa. 5. Rézsűállékonyság. 6. Földművek biztonsága, védelme és víztelenítése. 7. Egy új talajfizika alapjai.

Bár valamennyi művelt témája jelentős és mindegyik területen jelentős mértékben vitte előre mind elméleti, mind tapasztalati vonalon ismereteinket, és bár hazai vonatkozásban a stabilizált földutak területén végzett kísérleti és tudományos munkásságának különleges gyakorlati jelentősége is van, mégis a legutolsó téma talán az, amely valóban forradalmi fejlődés elindítására hivatott.

KÉZDI Árpádot tudományos munkássága nemzetközileg is elismert élvonalbeli tudóssá tette. Több ízben járt külföldön hivatalos kiküldetésben, tanulmányúton, szakértői minőségben, valamint nemzetközi konferenciák résztvevőjeként és ezek során számos előadást tartott. 1962-ben a drezdai Műegyetemen adott elő 6 hétig vendégprofesszorként, 1963/64-ben az Egyesült Államokban volt tanulmányúton és kutatómunkája mellett 40 előadást tartott, 1965-ben meghívásokra 2 hónapon át az Egyesült Államokban és Kanadában volt előadókörúton, majd 1966-ban Indiában. Az 1965-ös Nemzetközi Talajmechanikai Konferencián Montrealban, majd 1968-ban Bécsben főelőadó, az 1969-es nemzetközi talajmechanikai konferencián Mexikóban pedig paneltag volt.

KÉZDI Árpád 1958-ban elnyerte a műszaki tudományok doktora fokozatot, majd kimagasló tudományos munkásságáért 1966-ban az Állami Díj II. fokozatával tüntették ki. Eddigi rendkívül eredményes és még a továbbiakban is sokat ígérő tudományos pályájának méltó elismerését jelenti, hogy a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlése az Akadémia levelező tagjává választotta.



## KÉZDI ÁRPÁD TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

## 1. Tankönyvek és szakkönyvek

1. Cementtalajutak vizsgálata és méretezése. Közlekedési Kiadó, Budapest 1951
2. Talajmechanika I. Tankönyvkiadó, Budapest 1952
3. Talajmechanika II. Tankönyvkiadó, Budapest 1954
4. KÉZDI ÁRPÁD (Dr. PÓCZY Mihály): Földművek I—II. Tankönyvkiadó, Budapest 1957. A tankönyv I. rész A) és B); II. rész E) fejezetei
5. Talajmechanika. Földművek Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1957. (A „Mérnöki Kézikönyv” 2. kötetében a II. és IV. fejezetek.)
6. Sztoeoks i Iszledowanija na Opitni, CIMENTO-ZEMNI PJUTISCSA. Drzsáute izd. Nauka i Izkusztwo, Szófia 1957
7. Talajmechanika I. 2. átdolgozott kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest 1959
8. Mérnöki biológia (102—115), 12. Talajmechanikai alapfogalmak (153—164), 13. Műszaki földtani vizsgálatok menete és terjedelme (165—172), 17. Az alapozás földtana (206—228), 20. A létesítmények épségét veszélyeztető tényezők (257—300) o. és terjedelmű fejezetek MOSONYI E.—PAPP F.: „Műszaki földtan c. könyvben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1959
9. Talajmechanikai praktikum Tankönyvkiadó, Budapest 1961
10. KÉZDI ÁRPÁD — (MARKÓ Iván): Földművek védelme és víztelenítése. 1. kötet Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1962
11. Talajmechanikai alapfogalmak, Műszaki földtani munkák a felszínen A „Bányászati kézikönyv” III. kötetbeli 3. fejezetének B) és C) alfejezetei. Budapest 1962
12. Erddrucktheorien Springer Verlag; Berlin—Göttingen—Heidelberg 1962
13. KÉZDI ÁRPÁD — (MARKÓ Iván): Földművek védelme és víztelenítése, 2. kötet Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964
- 14—15. Bodenmechanik I—II. Verlag der ungarischen Akademie der Wissenschaften Budapest — VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1964. I. kötet
16. Stabilizált földutak Akadémiai Kiadó Budapest 1967
17. Handbuch der Bodenmechanik I. Akadémiai Kiadó, Budapest 1969
18. Talajmechanika I. 3. átdolgozott kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest 1969
19. KÉZDI ÁRPÁD — (MARKÓ I.): Erdbauten. Schutz und Entwässerung Werner Verlag, Düsseldorf 1969

## II. Tanulmányok:

1. Szádfalak grafikus méretezése. *Vízügyi közlemények* (1943)
2. Mérnöki biológia *Technika*, 25 évf. (1944) 1—40. o.
3. Közlekedési vonalak távlati ábrázolása. *Technika* 25 (1944) 393—394 o.
4. Újabb kutatások cölöpök teherbírásiának meghatározására. *Magyar Technika*; Általános mérnök. 2. 1. sz.
5. A talaj elektromos jelenségei és technikai alkalmazásuk. *Vízügyi Közlemények* (1947)
6. KÉZDI ÁRPÁD — (JÁKY József): Az újjáépülő szegedi közúti Tisza-híd altalajvizsgálata. *Magyar Technika*, Általános mérnök 3 163—166
7. Épületek alapozása homokcölöpökkel. *Mélyépítéstudományi Szemle* 1 (1951), 13—17
8. Homoktalajok tömörségének gyors meghatározása. *Mélyépítéstudományi Szemle* 1 (1951), 380—382
9. Einige Probleme der Spannungsverteilung im Boden. *Acta Techn. Hung.* 2 (1951), 373—389
10. Talajmechanikai kérdések Sztálinvárosban. *Építés-Építészet* 3 (1951), 629—646
11. A Balaton északi peremén bekövetkező mozgások vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* 32 (1952), 403—408
12. Van-e zavartalan talajminta? *Mélyépítéstudományi Szemle* 3 (1953), 23—28
13. Tömörítés = minőségi földmunka. *Mélyépítéstudományi Szemle* 3 (1953), 533—540
14. Makroporózus talajok vizsgálata roskadás szempontjából. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Köz.* 12 (1954), 191—200
15. A feltöltési anyagok vizsgálata talajfizikai, alapozási és földműépítési szempontból. *Mélyépítéstudományi Szemle* 5 (1955), 400—406
16. Über die Tragfähigkeit und Setzung von Pfahlgründungen In: Gedenkbuch für Prof. Dr. J. Jáky. Akadémiai Kiadó (1955), 41—55



17. Kísérleti cementtalajutak építése és kipróbálása. *ÉKME Tudományos Közleményei* 1 (1955), 1–64
18. Soil Mechanics. Feature article; *Applied Mechanics Reviews* 8 (1955), 357–363
19. Dovolena zatizeni a ssedáni základu. *Inzenyrské Stavbi Rocnik* 4, Cisko 10, 454–460
20. Rézsűk állékonysága. *Vízügyi Közlemények* (1956), 3–35
21. Földművek állékonysága. *ÉKME 1955 évi tudományos ülésszakának előadásai* 69–78 o.
22. Erfahrungen mit der Zement-Bodenvermörtelung in Ungarn. *Strassen- und Tiefbau* 9 (1957), 525–529
23. Bearing Capacity of Piles and Pile Groups. *Proceedings, 4 th Int. Conf. on Soil Mechanics and Found. Engg. Vol. II.*, 46–51. o.
24. Cementtalajutak tartóssága. *Mélyépítéstudományi Szemle* 7 (1957), 248–249
25. Nyesszuscsaja Szpaszovnoszty. Szvaj. *Osznovanija i Fundamenti* (1957), 6–15
26. Earth Pressure on Retaining Wall, Tilting about the Toe Brussels Conference 58 on Earth Pressure Problems; *Proceedings* (1958), Vol. I. 116–132
27. Cinq ans de mécanique du sol en Hongrie *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics* 11 (1958), 127–128
28. Beiträge zur Berechnung der Spannungsverteilung im Boden. *Der Bauingenieur* 33 (1958), 54–58
29. Vplyvy posobiace na stabilitu svahov. *Stavebnicky Casopis Rocnik VI. Cisko 1.* 18–28
30. Einiges über Rutschungen im Strassenbau. *Strassen- und Tiefbau* 10 (1958), 134–140
31. Cölöpök és cölöpcsoportok teherbírása. *ÉKME Tudományos Közleményei* 4 (1958), 25–87
32. Lösung der Differentialgleichung einer eindimensionalen Konsolidierung mittels Matrizenkalkül. *Acta Techn. Hung.* 27 (1959)
33. Earth Pressure on Stiff Retaining Wall Tilting around the Toe. *Acta Techn.* 25 (1959), 377–392
34. Megjegyzések rézsűk állékonyságának vizsgálatához. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 2 (1959), 297–319
35. Bemerkungen zur Frage der Tragfähigkeit von Pfahlgruppen. *Symposium on Pile Foundation* 89–96 o., Stockholm, 1960.
36. Nokolika pitanja, praktione mohaniko tla i fundiranja. *Technika* 15 (1960), 294–304
37. Contributions to the Bearing Capacity of Piles. *Acta Techn. Hung.* 29 (1960), 275–312
38. The Effect of Inclined Loads on the Stability of a Foundation. *Proceedings, 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engg. Vol. I.*, 699–703
39. A talajmechanika alkalmazásai a mérnöki gyakorlatban *Az Országos Mélyépítőipari Konferencia előadásai* 7–10, 1961
40. Cölöpök teherbírása. *Az Országos Mélyépítőipari Konferencia előadásai* 32–39, 1961
41. Untersuchung einiger Grundbruchfälle. *Verträge der Baugrundtagung 1960 in Frankfurt am Main.* 59–73 o., 1961
42. KÉZDI ÁRPÁD—(NAGYVÁTI Béla): Útburkolatok alatti szűrőrétegek viselkedésének vizsgálata. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 3 (1962), 527–535
43. Einige Betrachtungen zur Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen *Bauplanung-Bautechnik* (1963), 72–76
44. Scherverformungen von Sand. *ÉKME Tudományos Közleményei* 11 (1963), 93–105
45. Semleges feszültség és áramlási nyomás. *Vízügyi Közlemények* (1963), 3–19
46. Setzungen im Löss infolge der Erhöhung des Grundwasserspegels. *Proceedings, »Europäische Baugrundtagung«* 1963
47. Über Bodenstabilisierung im Strassenbau. *Die Straße* (1963)
48. Lectures on Soil Mechanics. *Publication of the School of Engineering, Princeton University* (1964)
49. Bemessung von Strassendecken. *Österreichische Ingenieur-Zeitschrift* 7 (1964), 417–419
50. Some Properties of Packings. In: „*Mechanical and Physico-Chemical Properties of Soils.*” 42–58 o., Washington, D.C. 1964
51. Earth Pressure Theories. Soil Mechanics Lecture Series: Design of Structure to Resist Earth Pressures. Sponsored by the Soil Mechanics and Foundation Division, Illinois Section, Am. Soc. Civ. Engrs. and Civ. Engg. Dept. Ill. Inst. of Technology 187–234
52. Stresses Around Wellbores. *Lab. Mem. Socony Mobil Co. Field Research Station Dallas*, (1965)
53. Lectures in Soil Mechanics. *Lab. Mem. Socony Mobil Co. Field. Research Station Dallas* (1965).
54. Problems of Sand Control in the Oil Industry. *Lab. Mem. Socony Mobil Co. Field Research Station Dallas, Texas* (1965)
55. On Some Properties of Soil Mixtures. *Proceedings, American Society of Civil Engineers Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division.* 91 sz. 213–217

56. Soil Physics. *International Post-Graduate Course on Hydrological Methods for Developing Water Resources Management*. Budapest 1966
57. Az Oroville-gát. *Vízügyi Közlemények* (1966), 275—281
58. Soil Mechanics. In: *Applied Mechanics Surveys*, 573—584, 1966
59. KÉZDI Árpád—(BRAHMA, S.P.): Strength of Soil-Cement. Paper Presented in Madras, India. (1966), 37—47 o.
60. Új eredmények a talajfizikában. *Mélyépítéstudományi Szemle* 16 (1966), 261—270
61. Szemcsés talajok nyírószilárdsága. *Mélyépítéstudományi Szemle* 16 (1966), 351—358
62. Contributions to the Investigations of Granular Systems. In: Kravtchenko, J.—Sinieys, MP. M. (Editors): *Rheology and Soil Mechanics. Symposium Grenoble April 1—8, 1964. International Union of Theoretical and Applied Mechanics* 164—178
63. Egy újfajta föld megtámasztásról. *Mélyépítéstudományi Szemle* 16 (1966), 565—566
64. Gyorsvasút a San Francisco-i öböl körül. *Közlekedéstudományi Szemle* 16 (1966), 181—184
65. Deep Foundations. General Report, 6th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engg. Montreal. *Proceedings Vol. III.* 256—264
66. Grundlagen einer allgemeinen Bodenphysik. *VDI-Zeitschrift* 108 (1966), 161—166
67. A talajstabilizáció néhány fizikai és kémiai vonatkozása. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 11 (1967), 179—204
68. Kohéziós talajok nyírószilárdsága. *Mélyépítéstudományi Szemle* 17 (1967)
69. Bodenphysikalische Untersuchungen. *VDI-Zeitschrift* 109 (1967), 1095—1100
70. Új könyvek földnyomásról, támfalakról. *Mélyépítéstudományi Szemle* 17 (1967), 257—262
71. Plastizitätslehre von Körnigen Materialien. *Acta Techn. Hung.* 59 (1967), 103—122
72. A külszíni szénfejtés hányóinak állékonysága. Földmunkák gépesítése 6. Nemzetközi Konferencia; tanulmányok gyűjteménye. II. kötet, 10. o., 11. ábra, Közlekedéstudományi Egyesület kiadása, Budapest 1967
73. Stateczność zwałowisk. *IV. Ogólnopolska Konferencja. Mechaniki Gruntów, Fundamentowania* (1967), 21—28
74. Külszíni szénfejtések talajmechanikai vonatkozásai. *ÉKME Tudományos Közleményei* 13 (1967), 23—54
75. Festigkeit von stabilisierten Erdstraßen. Donau-Europäische Konferenz „Bodenmechanik im Strassenbau“ Wien 1968
76. KÉZDI A.—(NAGYVÁTI B.): Strength of Stabilized Soils. *Acta Techn. Hung.* 62 (1968), 75—95
77. Bodenmechanische Probleme im Tagebau. *Bergbautechnik* (1968), 303—308
78. Bodenmechanische Probleme im Tagebau. *Bergbautechnik* (1968), 398—402
79. Nuevos adelantos en la física del suelo *Boletín Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones* (1968), 22—37
80. Distributions of Grains and Voids according to their Volume. *Acta Techn. Hung.* 63 (1968), 125—131
81. KÉZDI A.—(NAGYVÁTI B.): La resistencia de los suelos estabilizados. *Boletín Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones* (1968), 15—26
82. A rugalmasságtan alkalmazása kétfázisú közegre. *Szilárdságtani Kollokvium* 87—95 Budapest, 1969
83. Gátépítés az Eider-folyó torkolatában. *Vízügyi Közlemények* (1969), 110—119
84. Landslide in Loess Along the Bank of the Danube. *Proceedings, 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engg.* 2 617—626
85. Homokrézsük állékonysága (Hozzászólás Kovács Gy. cikkéhez). *Bányászati Lapok* 101 (1969)
86. Recent Developments in Filtration Calculation. *Mobil. Research and Development Corporation, Spec. Report*; Dallas (1969)
87. Stability and Sand Control Problems. *Mobil Research and Development Corporation, Spec. Report*, Dallas, 1969
88. Increasing the Bearing Capacity of Floating Piles. Speciality Session 8, 7th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engg. Buenos Aires (1969)



# PROHÁSZKA JÁNOS

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

PROHÁSZKA János 1920-ban született Budapesten. Egyetemi tanulmányait a budapesti műegyetem gépészmérnöki karán végezte.

Kutatásait aspiránsként kezdte. Az volt a feladata, hogy megbízható adatokat gyűjtsön a karbonnak titántartalmú acélban végbemenő diffúziójáról. Ezek az adatok a titánnal ötvözött acélbetétben való edzésének üzembiztos megvalósításához kellettek. A témát az 50-es évek elejének autarchiás törekvése vetette fel. Akkor sokan azt hitték, hogy a vörösiszapban levő titán acél ötvöztetésére sokoldalúan használható és csak valutaért beszerezhető egyéb ötvözőfémeket helyettesíthet. Prohászka a téma kidolgozása közben alaposan megismerhette a diffúziós kísérleteket és azok értékelésének módszereit.



*Prohászka János*

Disszertációjának megvédése után éveken át MILLNER Tivadar közvetlen munkatársaként működött közre a húzott wolframdrót újrakristályosodását és megfelelő körülmények között nagy méretű kristályok létrejöttét okozó szekunder újrakristályosodását felderítő kísérleti munkában. A kristályok növekedését a mintegy 0,1 mm átmérőjű izzó drótban a termikus elektronemisszió felhasználásával folyamatosan figyelték és mérték. Lényeges megállapítás volt, hogy a nagy kristályok nem egyenletes sebességgel nőnek.

Tapasztalatból ismeretes volt, hogy a nagy kristályok növekedését csekély mennyiségű idegen fém, például alumínium jelentősen elősegíti. Ennek a meglepő hatásnak értelmezése céljából meg kellett vizsgálni, hogy a fémkristályokban oldódó és az oldatlan idegen anyagok miként viselkednek, amikor az újrakristályosodás folyamán új kristályhatárok jönnek létre. Modellanyagként önt radioaktív ezüsttel ötvöztek és az ezüst eloszlását öntött állapotban, valamint újrakristályosodás után autoradiografiásan vizsgálták. Az újrakristályosodott ónban az ezüst az új kristályhatárokon volt megtalál-



ható, bizonyítva, hogy az oldatlan idegen anyagok nem maradnak meg az eredeti helyükön. Ebből az eredményből a wolfram-technológiában értékesíthető következtetést is lehetett levonni.

Akadémiai doktori értekezése a fémek reális szerkezetének létrejöttével foglalkozott, avval a kérdéssel, milyen mechanizmus eredményeként kerül  $\text{cm}^2$ -ként mintegy  $10^6$  diszlokációnak nevezett rácsszerkezeti hiba már az olvadékból képződött, öntött állapotú kristályokba. A diszlokációk mibenlétét, kölcsönhatásait és a fémek tulajdonságaiban megnyilvánuló következményeit akkor már óriási irodalom tárgyalta, egy lényeges kérdés azonban megoldatlan volt. A diszlokációban az atomok ui. nem a legkisebb energiájú állapotot jelentő távolságban vannak egymástól, a kristályok fejlődése közben tehát valami járulékos ok a legkisebb energiájú egyensúlyi helyzettől különböző állapot kialakulásához vezet. Az egyik opponensi vélemény szerint: „A jelölt érdeme, hogy felismerte a dendritágak alkotta zárt képződmények, keretek jelentőségét ilyen szempontból. Ebből az alapvetően lényeges megfigyelésből kiindulva vezette le a dendritágak hőmérsékletének és ötvözőfém-tartalmának különbözősége következtében képződő diszlokációk számát, a megfigyelésekkel egyező eredménnyel”.

A 60-as évek derekán egy évig M. F. ASHBY munkatársaként az USA Harvard Egyetemének műszaki és alkalmazott fizikai intézetében végezhetett kutatómunkát. Diszpergált kemény fázist tartalmazó fémek alakításakor tapasztalt nagymértékű keményedés elméleti magyarázatának kísérleti igazolásával foglalkozott. Eközben megismerkedhetett számos korszerű kísérleti technikával, többek között nagyméretű fémkristályok növesztésének módszereivel.

A legutóbbi években, már mint egyetemi tanár nagyobb függetlenséggel dolgozhatik a maga kiválasztotta feladatokon, amelyek a fémek reális szerkezete és a tulajdonságaik között fennálló összefüggések megismerésére irányulnak. A rideg Alnico mágnesötvözet törése a kristályok hasadásával megy végbe; ennek a folyamatnak leírása és értelmezése egy diszlokációk közti reakció eredményeként már ezeknek az éveknek termése. Tanulmánya előadásaként is elhangzott 1968 májusában a SZUTA Baikov Metallurgiai Intézetében a Csernov-centenárium alkalmából rendezett szimpóziumon. Szovjet akadémiai kiadványban néhány hónapja jelent meg egy további tanulmánya, amelyben matematikailag fogalmazza meg a szuperplaszticitásnak a szakító-kísérlet adataival kifejezhető feltételét.

Az előzmények alapján a MTA joggal remélheti és bizonyára el is várja PROHÁSZKA Jánostól, hogy annak tagjaként a fémtan tudományát értékes eredményekkel fogja gazdagítani. Több mint másfél évtizedes kutatói múltja, képzettsége és a kísérleti technikában szerzett sokoldalú tapasztalata, valamint a realitást szem előtt nem tévesztő gondolkodásmódja elég biztosíték, hogy e várakozásnak eleget fog tenni.



PROHÁSZKA Jánost értékes tudományos munkássága elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlése az Akadémia levelező tagjává választotta.

Verő József

### PROHÁSZKA JÁNOS TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

1. A diffúzió öntészeti vonatkozásai. *Kohászati Lapok*. (1954)
2. A titántartalom hatása a vasban a szén diffúziós sebességére és az acél cementálhatóságára. Kandidátusi értekezés, 1956
3. MILLNER, T.—PROHÁSZKA, J.—HORVÁTH, A.: Der Einfluß von Fremdschubstanzspuren auf die sekundäre Rekristallisation von Wolframdrähten. *Acta Techn. Hung.* **17** (1957), 289
4. MILLNER, T.—BARTHA, L.—PROHÁSZKA, J.: Autoradiographische Untersuchungen über die Ortsänderung von Verunreinigungen während des Rekristallisationsvorganges. *Zeitschrift für Metallkunde*, (1960), 639
5. PROHÁSZKA, J.—HORVÁTH, A.—MILLNER, T.: Über die Wachstumsgeschwindigkeit der Kristallite während der sekundären Rekristallisation von Wolframdrähten. Festkörperphysik, Akademie-Verlag, Berlin 1961
6. MILLNER, T.—PROHÁSZKA, J.—NEUGEBAUER, J.: Über den sekundären Rekristallisationsvorgang von mit Zusatzstoffen bereiteten Wolframdrähten. Festkörperphysik, Akademie-Verlag, Berlin 1961
7. BARTHA, L.—PROHÁSZKA, J.—MILLNER, T.: Autoradiographische Untersuchungen über die Bewegungsart geringer Fremdschubstanzen während der sekundären Rekristallisation von Metallen. Festkörperphysik, Akademie-Verlag, Berlin (NDK) 1961
8. MILLNER, T.—PROHÁSZKA, J.—BARTHA, L.: Autoradiographische Untersuchungen über die örtliche Verteilung von Silber in Zinn bei weit unterhalb der Löslichkeitsgrenze liegenden Ag-Konzentrationen. *Chemie-Ing. Techn.* **33** (1961), 224
9. Hidegen alakított fémek hőtágulási együtthatóinak változása légysítás közben. *Kohászati Lapok* (1962) 248
10. BARTHA, L.—MILLNER, T.—PROHÁSZKA, J.: Szennyezők rekristallizációs folyamatok során történt helyzetváltozásának vizsgálata fémekben autoradiográfiás módszerrel. Orsz. Atomenergia Bizottság Izotópkalkalmazási Szakbizottságának kiadv. 3, 1962. I/1 II. r. 1—8. (A II. Izotóp Alkalmazási konferencián 1961-ben elhangzott előadás).
11. Änderungen des Wärmeausdehnungskoeffizienten von kaltverformten Metallen in Verlaufe des Weichglühens. *Acta Techn. Hung.* **39** (1962), 349
12. PROHÁSZKA, J.—WADEWITZ, H.: Zum Gleitsystem von Wolfram. Reinstoffe in Wissenschaft und Technik. Akademie-Verlag, Berlin 1963
13. MILLNER, T.—BARTHA, L.—PROHÁSZKA, J.: Untersuchungen über Wanderung kleiner Silbermengen in reinem Zinn bei Verwendung von radioaktivem Silber. *Zeitschrift für Metallkunde* **54** (1963), 17
14. Über einen Mechanismus der Versetzungsbildung während der Dendritischen Kristallisation. *Acta Metallurgica*, Vol. **11** (1963), 125
15. PROHÁSZKA, J.—BÁNKI T.: To Dependence of Rigid-Plastic Temperature of Tungsten on Strain Rate. Előadás a warnemünde nemzetközi szilárdtestfizikai kongresszuson 1963. Warnemünde (NDK)
16. Reply to Comment by Hamilton on the Origin of Dislocations in Dendrites. *Acta Metallurgica* **12** (1964) 12, 104
17. Anyagszerkeztan, Mérnöktoábbképző Intézet, Budapest 1964
18. Diszlokációk képződése a dendrites kristályosodás során. Budapest 1963. Akadémiai doktori értekezés
19. PROHÁSZKA J.—TÓTH GY.: Finommechanikai melegtechnológia. Egyetemi jegyzet, 1966 Budapest
20. PROHÁSZKA, J.—ASHBY, M.F.: An Experiment to Determine the Nature of Work Hardening in Dispersion-Hardened Alloys. Kutatási jelentés a Harvard Egyetemen 1966
21. A fémek képlékeny alakváltozásának kapcsolata a valódi kristályszerkezettel. Előadás a GTE II. nemzetközi hidegalakítási konferenciáján. 1967
22. PROHÁSZKA, J.—KOVÁCS, Á.—ÁGOSTON, A.: Hidegalakítás. Egyetemi jegyzet. 1968.



# SZABÓ JÁNOS

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

SZABÓ János 1920-ban született Budapesten. 1943-ban a budapesti József Nádor Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetemen mérnöki oklevelet szerzett.

Szakmai tevékenységét 1940-ben a budapesti városmérésnél kezdte meg, majd SÁVOLY Pál mérnök tervezőirodájában dolgozott. 1943. október 1-én vasút-építő műszaki alakulathoz katonai szolgálatra hívták be. 1945 tavaszán hadifogságba került, s itt hosszabb ideig főépítésvezetőként működött.

1947-ben hazatérve mint szerkezettervező mérnök dolgozott, majd 1948-ban az Építéstudományi Intézet kötelékébe lépett. Később az Építésügyi Minisztériumban, utóbb a Haditechnikai Intézetben dolgozott. 1950-től a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium Tervezési Főosztályát, ill. Út- és Hídfőosztályát vezette. 1955-től 1957-ig a Város- és Községgazdálkodási Minisztériumban miniszterhelyettesi teendőket látott el, majd az UVATERV kötelékébe lépett. 1958-tól az ÉTI-ben előbb mint laboratóriumvezető, később 1961-ig mint igazgató működött, amikor az Építésügyi Miniszter helyettesévé nevezték ki.

Hosszabb időn át végzett oktatómunkát a Műszaki Egyetem Mérnök-kari Matematika, majd Mechanika tanszékén. Utóbbin 1965 februárjától mint egyetemi tanár működik. 1968 márciusában ismét fontos megbízatást kap, mint az Építésügyi és Városfejlesztési Miniszter első helyettese.

Tudományos munkásságát rugalmasságtani — szűkebb értelemben tartószerkezeti — kutatómunkával kezdi. Első dolgozatai, tanulmányai erre a területre esnek.

15 éve foglalkozik a lineáris algebra matrixszámítási eszközeinek mérnöki alkalmazásával. Ennek keretében elsőként használja a differenciaképző matrixokat és kifejleszti azok spektrál-felbontásán alapuló, speciális matrix-egyenletek megoldási módszereit. A Poisson-típusú kétméretű differencia-



*Szabó János*

egyenletek módszerét széleskörűen alkalmazta lemezek, tárcsák, tartórácsok számítására, továbbá egyszeresen és többszörösen összefüggő keresztmetszetű prizmatikus rudak gátolatlan csavarási problémájának numerikus megoldására.

Speciális eljárást dolgozott ki egyszerű struktúrájú matrixok spektrál felbontásának ortogonális transzformáció-sorozattal történő előállítására és ennek alapján általános érvényű eljárást alakított ki kötélhálók és más geometriailag nem lineáris szerkezetek előírt pontosságú iteratív számítására. Részletes vizsgálatokat végzett a kötélhálók állapotváltozására, az erre vonatkozó elméleti összefüggéseket teljessé tette. Részletes vizsgálatokat végzett rúdszerkezetek állapotváltozására és kidolgozta ezek általános érvényű stabilitási összefüggéseit.

A numerikus módszerek és a modern számítási eszközök jelentőségét felismerve, elsőik között kezdeményezte a kibernetika közlekedési és építőipari alkalmazását, a számítástechnikai módszerek modernizálását. Ezeket a módszereket több ilyen témájú hazai és külföldi előadáson ismertette. Az említett területen szerteágazó kutató, oktató és szervező tevékenysége révén iskolát teremtett a mérnöki problémák matrixszámítás módszerével történő gyakorlati megoldására.

Több mint 10 éve részt vesz — a népgazdasági érdekeknek megfelelően — az építőipar iparosítási folyamatának előkészítésében és szervezésében, ennek keretében kezdeményezi és személyes közreműködésével jelentősen befolyásolja az iparosított lakásépítés legkorszerűbb házgyári módszerének hazai megvalósítását s a fejlett külföldi eredmények adaptálását.

A műszaki tudományos élet számos fórumán jelentős vezető és irányító tevékenységet folytat. Így pl. főtítkára, majd társelnöke a Közlekedéstudományi Egyesületnek, elnökségi tagja a Magyar Építőművészek Szövetségének, titkára a IUTAM magyar nemzeti bizottságának s több akadémiai bizottságnak elnöke, ill. tagja.

A Tudományos Minősítő Bizottság 1956-ban a műszaki tudományok kandidátusának, majd 1964-ben a műszaki tudományok doktorának minősítette. Értékes tudományos munkássága alapján a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlésén levelező tagnak választotta.

*Bölcskei Elemér*

## SZABÓ JÁNOS TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

### I. Könyvek:

1. Közlekedési Építőipari matematikai példatár. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1955
2. Mérnöki Kézikönyv Matematika c. részének szerkesztése és egyes fejezeteinek megírása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1956, 1—62. o.



## II. Tanulmányok:

1. Adalékok a csőszámításhoz. *Mélyépterv MSZMT Közl.* (1951)
2. Feszített vasbeton hídak építése és tervezése Csehszlovákiában. *Mélyéptéstudományi Szemle* (1953), 553—561
3. Rugalmas támasztású többtámaszú tartók számítása mátrixok útján. *Mélyéptéstudományi Szemle* (1956), 71—77
4. Tartórácsok számítása a mátrixelmélet segítségével. *Mélyéptéstudományi Szemle* (1956), 210—212
5. Über die explizite Auflösung der Poissonschen biharmonischen und anderer ähnlichgebauten Differenzengleichungen mit Hilfe der Matrizenrechnung. *Osztrák Mat. Egy. Közl.* 47—48, 85. o., Wien (1957)
6. Négyfőtartós hídtartórácsok hatásfelületeinek számítása a mátrixelmélet segítségével. *Mélyéptéstudományi Szemle* (1957), 228—232
7. Application of the Matrix Theory to the Calculation of Continuous Beams. *Acta Techn. Hung.* 16 (1957), 175—193
8. Stahlbeton-Trägerrostdecken. *Bautechnik*
9. A mátrixelmélet alkalmazása egyes szilárdságtani problémákat leíró parciális differenciálegyenletek közelítő megoldásánál. *Mat. Kut. Int. Közleményei*, 1
10. Ciklikus szimmetriával bíró térbeli rácsos tartók rúderőinek meghatározása hipermátrixok alkalmazásával BÉRES Elek és LOVASS-NAGY Viktor társszerzőkkel. *Matematikai Kut. Int. Közleményei* 1
11. Többfőtartós keresztartókkal merevített hídtartórács pontos számítása. UVATERV Műszaki Oszt. kiadása (1958) S-51. műszaki segédlet
12. Die Berechnung von Brückenträgerrosten. *Der Stahlbau*, 27 (1958), 141—148
13. Application du calcul matriciel a la solution numérique de la stabilité élastique des barres droites de section variable. Belgium, 1958
14. Ortotrop acél-pályalemezek egyszerűsített számítása. UVATERV Műszaki Osztály kiadása (1958), S-70. segédlet
15. Ein neues Verfahren zur unmittelbaren numerischen Lösung der Dirichletschen Randwertaufgaben. *ZAMM* 38 (1958), 280—284
16. Über eine Anwendung der Hypermatrixen bei der Berechnung von räumlichen Fachwerken mit zyklischer Symmetrie. *Der Stahlbau* (1958), 281—284 (társszerzőkkel)
17. Változó keresztmetszetű nyomott rudak kihajlása. *Mélyéptéstudományi Szemle* (1958), 522—527
18. A mátrixszámítás és műszaki alkalmazásai. Alapfogalmak. Mérnöki Továbbképző Intézet, 1959
19. Application du calcul matriciel à la solution numérique de la stabilité élastique des barres droites de section variable. A liège-i egyetem Évkönyveinek sorozatában, 1959
20. Kibernetikai módszerek alkalmazása az építőipari műszaki tervezésben. Közlekedéstudományi Egyesület, 1959
21. Ein Matrizenverfahren zur Berechnung von orthotropen stahlernen Fahrbahnplatten. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Dresden*, (1960), 671—679
22. Über die Stabilität des Gleichgewichts gedrückter Stäbe mit veränderlichem Querschnitt (társszerzőkkel) *Acta. Techn. Hung.* 28 (1960), 73—86
23. Matrix Solution of Beams with Variable Moments of Inertia. *Proceedings ASCE, Structural Division* (1960) 101—104
24. Raszcsot prjamougelnüh sájb. *Acta. Techn. Hung.* 32 (1961), 185—196, (társszerzőkkel)
25. Hozzászólás Fazekas Ferenc „Áttekintés a mátrixszámítás mérnöki alkalmazásairól” c. előadásához. *ÉKME Tud. Közl.* V./2—5. 1960
26. Mit Hilfe der kanonischen Form der Matrixfunktionen vorteilhaft zu behandelnde Aufgaben auf dem Gebiet der Statik und der Festigkeitslehre. *Wissenschaftliche Zeitschrift der T.U. Dresden*, 10. 1961
27. Hozzászólás dr. Pelikán József „Héjszerkezetek számításának formai kialakításának és építésének új útjai c. előadásához. *ÉKME Tud. Közl.* (1963)
28. A térbeli tartórács egyenlete. *ÉTI Tud. Közl.* 34. 1964
29. Kötélháló állapotterének elemzése. *Építés és Közlekedéstudományi Közlemények* (1965), 315—323
30. Prizmatikus rúd torziós vizsgálata (társszerzővel). *Mélyéptéstudományi Szemle*, 16 (1966), 183—188
31. Térbeli tartószerkezetek elemzése mátrixmódszerekkel. MTI jegyzet. 4507 sz. 1966. 211. o. (társszerzővel)



32. Beitrag zur Abhandlung über die „Berechnung von Seilträgernetzen“ von B. Roller (társszerzővel). *Acta. Techn. Hung.* **65** (1966), 109–116
33. A Blaha Lujza téri aluljáró födémlemezének statikai ellenőrzése. *Mélyépítéstudományi Szemle* (1966), (társszerzővel)
34. Alumínium tartószerkezetek néhány kísérleti kérdése (társszerzővel). *ALTAK Tájékoztatója* 1967, 2, 34–49
35. Asymptotic and Iteration Methods for the Matrixanalysis of Structures with Linear or Nonlinear Character (társszerzővel). *Acta. Techn. Hung.* **59** (1967), 43–56
36. Az elektronikus számológép tartószerkezeti alkalmazásai *ÉKME Tudományos Közleményei* **13**, 1967

### III. Jegyzetek:

1. Válogatott fejezetek a tartók statikája korából (társszerzővel). Tankönyvkiadó, Budapest 1962
2. Tartók statikája I. (társszerzővel). Tankönyvkiadó, Budapest 1965. 206 o.
3. Tartók statikája II. (társszerzővel). Tankönyvkiadó, Budapest 1966. 239 o.
4. Tartók statikája III. – függelék. Tankönyvkiadó, Budapest 1966. 171 o.
5. Statika I. rész. Acélszerkezetek szakmérnökök részére. Tankönyvkiadó, Budapest 1964. 82 o.
6. Statika II. rész Acélszerkezeti szakmérnökök részére. Tankönyvkiadó, Budapest 1967. 136 o.

# SZENDY KÁROLY

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

SZENDY Károly 1911-ben született Budapesten. Egyetemi tanulmányait a budapesti Műegyetemen végezte. Néhány hónapos németországi ösztöndíjas tanulmányútja után a Budapest Főváros Elektromos Művei kötelékében dolgozott. Itt először a fővárosi hálózat tervezési kérdéseivel foglalkozott, és ezzel kapcsolatban elkészítette az első magyar hálózati kismintát, amely hurkolt hálózatok vizsgálatára igen alkalmasnak bizonyult. 1937-ben Smith Jeremiás-ösztöndíjjal az Amerikai Egyesült Államokban 5 hónapon keresztül villamosenergia-rendszerek tervezési és üzemi kérdéseit tanulmányozta. Visszaérkezése után az Elektromos Művek erőműtervezési osztályán villamos szakvezetőként működött és mint ilyen az erőmű villamos berendezéseken kívül a nagyfeszültségű villamos hálózatok kérdésével is foglalkozott. Erre a szakterületre esik a műszaki egyetemi doktori fokozat elnyerésére 1940-ben benyújtott „A turbogenerátorok lengései” c. értekezése.



*Károly Szendy*

1943—1949 között a Mátravidéki Erőmű építésével és újjáépítésével foglalkozott. 1945-től kezdve, mint a helyszíni építkezés vezetője dolgozott. 1950-ben az egységes magyar energiarendszer kiépítése érdekében felállított Erőmű Tervező Iroda villamos osztályának vezetésével bízták meg. Ebben a minőségében kezdte meg azt a gyakorlati és tudományos munkásságát, amelynek elismerésül 1952-ben a műszaki tudományok kandidátusa, 1955-ben pedig a műszaki tudományok doktora címet nyerte el, majd 1963-ban munkája érdeméért a Magyar Népköztársaság kormánya a Kossuth-díj II. fokozatával tüntette ki.

Ma is az Erőmű- és Hálózattervező Vállalat főszakértőjeként dolgozik és mint ilyen, a kooperációs villamosenergiarendszer kialakításáért felelős. Munkássága alapján vezette be a Magyar Villamos Művek a hálózati veszteségek figyelembevételével az erőművek közötti gazdaságos terheléselosztás

módszerét. E téren több idegen és magyar nyelvű munkája jelent meg, amelyeket francia és német szaklapok is ismertettek. Egyik magyar nyelvű dolgozata alapján 1959-ben a Magyar Elektrotechnikai Egyesületben a Zipernowsky-díjat kapta.

A hálózatfejlesztés gyakorlati munkáin kívül több elméleti tanulmányt készített. Ezekben a matrixszámítás bevezetésével hálózati alakzatok, villamos gépek, transzformátorok átmeneti és állandósult jelenségeinek vizsgálatával foglalkozott. E területen megjelent idegen nyelvű munkáit az 1967-ben kiadott „Korszerű hálózatszámítási módszerek” c. könyve foglalta össze.

A kooperációs rendszerek vizsgálatára valószínűségszámításon alapuló oly modellt készített, melynek segítségével a rendszerek közötti összeköttetések létesítésének gazdaságossága értékelhető. Ezt a munkáját 1964-ben az amerikai elektrotechnikai egyesület téli ülészakán mutatták be. Kooperációs problémával foglalkozott a tranziens stabilitást meghatározó matematikai modellje, amely a CIGRÉ 1960. évi párizsi ülészakára készült el.

1962-től kezdve rendszeresen részt vesz a villamosenergia-rendszerek nemzetközi szervezetének (CIGRÉ-nek) rendszertervezési és üzemviteli tudományos bizottságának munkájában, kezdetben mint szakértő, majd 1965-től kezdve mint a bizottság állandó tagja. 1962-től kezdve a KGST Villamosenergia Állandó Bizottság magyar tagozatának aktív tagja, 1963-tól kezdve pedig személyes irányítója az első szovjet—magyar 400 kW-os vezeték tervezési munkálatainak.

Az 1968-ban meginduló osztrák—magyar villamosenergia-csere létrehozásában javaslataival aktívan részt vett a tervek kidolgozását irányította.

Hálózati és erőművi vizsgálatait a Műszaki Egyetemen és a Mérnökképző Intézetben is ismertette. Tudományos munkásságáért a Budapesti Műszaki Egyetem 1966-ban részére a c. egyetemi tanári címet adományozta.

Villamoshálózatokkal és létesítményekkel kapcsolatban végzett tudományos és gyakorlati munkásságán kívül több éven keresztül foglalkozott a villamosenergia közvetlen előállításának kérdéseivel, különösképpen az MHD generátor problémáival.

Tevékenyen részt vesz az MTA és az Elektrotechnikai Egyesület tudományos bizottságainak munkáiban. Szakértői tevékenységet folytat a Villamos Energetikai Kutató Intézetben és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottságban energetikai és erősáramú szakkérdésekben.

Tudományos munkásságát több szakkönyv, számos dolgozat dokumentálja.

SZENDY Károlyt értékes tudományos munkássága elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1970. február 4-én tartott közgyűlése az Akadémia levelező tagjai sorába választotta.

*Lévai András*

## SZENDY KÁROLY TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

## I. Könyvek:

1. Erőművek Villamos berendezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (Ronkay Ferenc szerkesztésében társszerzőként)
2. Pattantyus: Gépész és villamosmérnökök kézikönyve. 8. kötet. Villamos energia b) fejezet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967. (Dr. Vajta Miklós szerkesztésében, társszerzőként)
3. Korszerű hálózatszámítási módszerek. Akadémiai Kiadó, Budapest 1967

## II. Tanulmányok:

1. Turbogenerátorok lengései. 1940. Doktori disszertáció
2. 100 kV-os alállomások elrendezése. *Elektrotechnika* (1949) (társszerzővel)
3. Erőművek segédüzemi berendezéseinek elvi elrendezési kérdései. *Elektrotechnika* (1950) (Nagy Elemérrel)
4. Háromfázisú változó áramú rendszer transzformációjának elmélete. 1953. Doktori disszertáció.
5. Az országos kooperációs hálózat feszültsége és kialakítása. VI. Oszt. Közl. **10** (1953), 177—192
6. Középfeszültségű elosztóhálózatok. *VILLENKI* 10. sz. tan. (1954)
7. Meddőteljesítmény kompenzálása. *Elektrotechnika* (1956), 249—296
8. Application of the Matrix Calculus to the Investigation of Transformers in Arbitrary Connection. *Acta Techn. Hung.* **16** (1957), 312—352 (Lovass-Nagy Viktorral)
9. Mathematische Untersuchung der stationären und transienten Vorgänge in elektrischen Dreiphasenmaschinen mit Hilfe von Hypermatrizen. *Periodica Polytechnica-Elrotechnik* **2** (1958) (Lovas Nagy Viktorral)
10. Surge Phenomena in Electromagnetic Coils Analysed by Hypermatrix Methods. *Acta Techn. Hung.* **21** 427—446 (Lovass Nagy Viktorral)
11. Transformation of a Three-Phase Alternating-Current System with the Aid of Matrix-Calculus. *Acta Tech. Hung.* **19** (1958), 389—403
12. Hálózatszámítás matrixok segítségével. *Elektrotechnika* (1957)
13. Matrix Calculus to Transient Analysis of Electrical Network. Belga Mérnök Matematikai Társaság Kiadványa (1958)
14. The Extension of Calver's Method for Network Calculation. *Acta Technica Belgica* (1958)
15. Erőművek gazdaságos terheléselosztása a hálózati veszteségek figyelembevételével. *Elektrotechnika* (1958)
16. Determination of the Electrical Interconnection Requirements by Probability Method. *Acta Tech. Hung.* **26** (1959)
17. Szempontok az országos hálózat kialakítására. *Elektrotechnika* (1958)
18. Transiens stabilitás feltétele sokgépés rendszerben, *VILLENKI* (1959), 279. sz. jelentés
19. Nagyfeszültségű hálózatok párhuzamos üzeme. *VILLENKI* (1960), 327. sz. jelentés
20. Transient and Steady-State Stability Condition of a Multimachine System. *CIGRÉ* (1960), 308. sz.
21. Simple and Generalized Method for Developing the Increment Transmission Losses. *Acta Techn. Hung.* **34** (1961)
22. Economical Loading of Network Connected Parallel on Two Operating Voltages. *Acta Techn. Hung.* **38** (1962)
23. Transient Stability Investigated by Transient Potential Method. *CIGRÉ* (1962) 13. bizottságában közzétett dolgozat.
24. Villamos hálózat gazdasági értékelése. *Elektrotechnika* (1962)
25. Investigation of Transient Phenomena of Electrical Networks by Matrix Calculus. *Acta Techn. Hung.* **41** (1962), 269—278
26. Kriterium der dynamischen Stabilität in Dreigeneratorsystemen und dessen Verallgemeinerung auf Mehrgeneratorsysteme. *Archiv für Elektrotechnik* (1962), 149—160
27. Basic Equation of MID Generator. *Acta Techn. Hung.* **40** (1962), 431
28. Einfache Bestimmung der Zuwachsverluste. *BTZ-A*, 1. füz (1963), 16—17
29. Actual Problems of Main-Transmission-System Planning in Hungary. *CIGRÉ*, Párizs (1963)
30. Simple Determination of Incremental Losses. Az európai Gazdasági Bizottság Velencében megtartott szimpóziumán bemutatott dolgozat (1963)



31. Feloszlási, illetve veszteségi kérdések általános tárgyalása a rezisztív feszültségfelemelkedés segítségével a tranzit veszteség értékelésének megkönnyítése céljából. *VILLENKI* (1963), 441. sz. tanulmány.
32. Főhálózatok tervezési kérdései. Varsói konferenciára kiküldött dolgozat (1964)
33. Zur Behandlung von Fernleitungsverzweigungen mit Hilfe von Vierpolketten. *Archiv für Elektrotechnik* 49 (1964), 49–54 (Lovas-Nagy Viktorral)
34. Losses Caused by Hall-Effect and their Influence on the Efficiency of the Thermal Cycle in MHD Generators. *Acta Techn. Hung.* 44 (1963), 451 (Halász Dénessel)
35. Economical Tie-Line Capacity for an Interconnected System. *IEEE Transaction on Power Apparatus and System* (1964), 721–726
36. Medium Size Thermionic Generator. *Acta Techn. Hung.* 48, 126 (Halász Dénessel)
37. Háromfázisú aszinkron gépekben lejátszódó transziens folyamatok vizsgálata a matrix-számítás módszereivel. *Elektrotechnika*, 1964. 57 (1964), 381–391 (társszerzőkkel)
38. Nouvelle méthode de détermination des portes dans les réseaux électriques à haute tension. *Revue Générale de L'Électricité* 73 (1964), 102–104
39. Calculation of transient Voltages in a Transformer Connected to a Transmission Line. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers* (London) (1964), 1133–1136, (Lovass-Nagy Viktorral)
40. Electron Emission in MHD generators. International Symposium on MHD Electrical Generation CECD European Nuclear Energy Agency (Paris, 1964. 19/a dolgozat a szekcióban (társszerzőkkel)
41. Transmission in Hungary. *Energy International* (1965), (társszerzővel)
42. Transfer Capacities in the Interconnected System. CIGRÉ-Study Committee. No. 13. München (1965), 12–14. B. 2H dolgozat
43. MHD Power Plant with High Air Preheat. 7th Symposium on Engineering Aspects of Magnetohydrodynamics. Princeton University USA (1966) (társszerzővel)
44. High Grad Ionisation in Cold Gas. 8th Symposium on Engineering Aspects of Magneto-hydrodynamic. (Stanford University USA, 1967 (Halász Dénessel)
45. Effect of Increasing the Generating Unit Size on System Interconnection Tie Lines. *CIGRÉ*, 1968. ülészakán (társszerzőkkel)
46. Improvement of Thermo-Electric Generator Efficiency by partial recuperation of Input Heat. VII. Energia Világkonferencia 1968. (társszerzőkkel)
47. A magyar villamos energiarendszer kooperációs hálózatának tervezett fejlődése. *Elektrotechnika* (1969), 101
48. Economic and Technical Problems of Electric Power Transmission. S. E. A. S. Symposium, London 1969

#### *Jegyzetek:*

1. Hőerőművek segédüzemi berendezései. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1952
2. Nagyszűrtésű hálózatok kialakítása és a hálózati veszteségek csökkentése. Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest 1960
3. Hőerőművek villamos berendezésének kialakítása és üzeme a gazdaságosság figyelembevételével. Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest 1961
4. Energiátvitel gazdaságossági szempontjai. Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest 1962



## HAVIÁR GYŐZŐ

1895 – 1970

Igen nagy veszteség érte a magyar híd- és szerkezetépítő tudományt Dr. HAVIÁR Győző május hó 4-én bekövetkezett halálával. Dr. HAVIÁR Győző kiváló képviselője volt a méltán híres magyar hídépítő gárdának, aki kiváló elméleti felkészültségével és gyakorlati alkotásaival egyaránt eredményesen járult hozzá tudományágának továbbfejlesztéséhez.

Dr. HAVIÁR Győző 1895-ben született Pöstyénben, Az első világháborúban teljesített katonai szolgálata után 1920-ban a budapesti Műegyetemen mérnöki oklevelet szerzett. Itt dr. KOSSALKA János professzor hívta meg azonnal az I. sz. Hídépítéstani tanszékre tanársegédnek, majd rövidesen adjunktus lett, és megszerezte a műszaki doktori, majd magántanári címet. KOSSALKA professzor mellett tevékeny és irányító szerepet játszott a duna-földvári Duna-híd tervezésében, majd a Boráros téri és az óbudai hídra kiírt tervpályázaton első díjjal kitüntetett pályatervek kidolgozásában is. 1933-ban a Kereskedelem- és Közlekedésügyi Minisztérium közúti hídosztályára került, ahol először az ország úthálózatának modern elvek alapján megindított kiépítése, majd a felszabadulás után a második világháborúban felrobbantott hidak helyreállítása adott alkalmat kiváló szerkezeti és elméleti tudása, tervezői tehetsége érvényesítésére. Az újjáépítés első fázisában döntő szerepe volt a nagy fesztávolságú alsópályás vasbeton ívhidak tervezési és építési elveinek tudományos lerögzítésén keresztül ezen korszerű és gazdaságos híd-típusok Magyarországon való meghonosításában; az újjáépítés végrehajtásában pedig számos kisebb-nagyobb Körös- és Maros-híd mellett különösen a budapesti Szabadság-híd és az új szegedi közúti Tisza-híd felépítésében. 1949-ben a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium közúti hídosztálya tervellenőrző csoportjának vezetője, majd 1954-től 1957-ben történt nyugalomba vonulásáig a Hídosztály vezetője volt. Ettől az időtől kezdve mint a Magyar Tudományos Akadémia Építéstudományi Munkaközösségének tudományos munkatársa és a Vasbetonszerkezeti Szakbizottság vezetője vett fáradhatatlanul részt első-sorban a vasbeton- és feszített betonszerkezetek tudományának hazai fejlesztésében és szervezésében.

Hosszú éveken át tevékeny tagja volt a Magyar Tudományos Akadémia

Építéstudományi Főbizottságának, továbbá az Acélszerkezeti, Statikai és Tartószerkezeti Albizottságoknak, s elnöke a Vasbetonszerkezeti Albizottságnak.

Tudományos munkássága azonban számos más elméleti és gyakorlati kérdésre is kiterjedt, mert lelkesedett minden, szakmájához tartozó oly problémáért, amely új és fejlődést jelentő volt. Így például eljárást dolgozott ki a gerendatartóval merevített ívhidak (Langer-hidak) pontos erőjátékának meghatározására, a rugalmas ágyazású ívtartók szilárdsági vizsgálatára, részletesen foglalkozott a tartók dinamikus igénybevételeinek meghatározásával mint elméleti problémákkal. De ugyanakkor az alumíniumszerkezetek, csőállványok, az ortotróp pályalemezek, a nagy szilárdságú feszített csavaros kötések szerkezeti problémáit is nagymértékben vitte előre. Az utóbbi 10–15 évben figyelme a feszített szerkezetek felé irányult. E problémakörön belül szilárdságtani problémákkal (pl. utófeszített beton tartóvég vizsgálata, földm panelek, törési biztonság), valamint a feszítésre szolgáló acélhuzalok viselkedésével, minőségével, célszerű alakjával foglalkozott. Azonnal felismerte a részleges feszítés jelentőségét és annak erős szószólója volt már akkor, amikor igen neves szakemberek még nem látták be annak létjogosultságát. Felfogása teljes igazolást nyert az 1968-ban New Yorkban tartott VIII. Nemzetközi Hidkongresszuson, amely teljes mértékben nemcsak helyt, hanem előnyt adott az ilyen szerkezeteknek.

Munkásságának elismerésül 1946-ban a Magyar Köztársasági Érdemrend arany fokozatával, 1950-ben a Magyar Népköztársasági Érdemrend V. fokozatával, 1965-ben pedig egyetemi tanári címmel tüntették ki.

Tudományos munkásságát közel 50 bel- és külföldi szaklapban megjelent szakkikkekben és számos tanulmányi jelentésben fektette le — amelyek azonban nem merítik ki teljes működését.

1966-ban jelent meg Dr. MIHAILICH Győzővel közösen írt, de nagyrészt az ő lelkes adatgyűjtő munkáján felépült könyve: „A vasbetonépítés kezdete és első létesítményei Magyarországon” c. értékes műszak-történeti munkája.

Oktatói munkásságát a Műegyetemen KOSSALKA professzor mellett a tartók statikája és az acélszerkezetek területén, majd pedig 1955 óta a különleges vasbetonszerkezetek (faltartók, feszített szerkezetek) területén fejtette ki.

HAVIÁR Győzővel azonban nemcsak szakmáját hallatlan lelkesedéssel és rátermettséggel szerető és fejlesztő tudóst, az ifjúságot odaadással és szeretettel az újra és szakmájának szeretetére nevelő oktatót veszítettünk, hanem egy igaz, jó embert és odaadó barátot is, akinek segítőkészsége, önzetlensége és szerénysége közismert, mindenki által elismert és megbecsült volt. Emlékét emberi és mérnöki példaként kell megőriznünk.

*Dr. Széchy Károly*

# A NEMZETKÖZI KÖZLEKEDÉSPOLITIKA ELMÉLETI ÉS GYAKORLATI PROBLÉMÁI

DR. CSANÁDI GYÖRGY\*

AKADÉMIKUS

## I.

A modern közlekedés egyik alapvető jelensége, hogy az *utas- és áru-forgalom szüntelenül növekszik*. E növekedési folyamatban sajátos törvényszerűségek, dinamikai összefüggések érvényesülnek.

Az áruszállítás tekintetében megállapítható, hogy a termelési technika gyors fejlődésével és a fogyasztási igények vele kölcsönhatásban alakuló növekedésével a *termékek mennyisége jóval nagyobb arányban nő, mint a lakosság száma*, azaz szüntelenül nagyobb lesz az egy főre jutó termékmennyiség. Ez a növekvő fajlagos termékmennyiség a közlekedési eszközök számára első-sorban mint abszolút mennyiségében növekvő elszállítandó árutonna jelentkezik, de természetesen növeli a szükséges árutonnakilométer-teljesítményeket is. Az, hogy a növekvő termékmennyiség miként jut kifejezésre az árutonnakilométer-teljesítmények növekedésében, országokként eltérő képet mutat. Mint világtendencia azonban megállapítható, hogy *az egy főre jutó árutonnakilométer-teljesítmény gyorsabban növekszik, mint az egy főre jutó termékmennyiség*. Ez nemcsak azt jelenti, hogy a modern ember egyre több terméket használ fel szüntelenül fejlődő, javuló életéhez, hanem azt is, hogy e termékeket egyre nagyobb távolsághól szerzi be. E mutatóban tehát kifejezésre jut a termelés egyre tágabb térségeket felölelő munkamegosztása és kooperációja, a nemzeti gazdaságok belső fejlődése mellett a *nemzetközi munkamegosztás és kooperáció növekvő aránya*.

Az emberiségnek azonban nemcsak a termék-mozgatási igénye növekszik. A vonatkozó adatok, a rohamosan növekvő *idegenforgalom* jelenségeinek elemzése arról győz meg, hogy még erőteljesebb tendencia az egy főre eső utazások számának, és főleg az egy főre jutó utaskilométer-teljesítménynek a növekedése. Az *emberiség utazási igényének növekedése az emelkedő életszínvonalal és a szabadidő bővülésével még gyorsabb és intenzívebb, mint az áruszállítási igényének növekedése*, s ebben az országhatáron túli, nemzetközi idegenforgalom részarányának növekedési üteme még szembetűnőbb.

\* 1970 július 1-én tartott székfoglaló előadás.

Korunk közlekedésfejlődésének egy másik fontos törvényszerűsége a *sebesség szüntelen növekedése*. A gyakorlat azt mutatja, hogy az emberiség többre értékeli a nagyobb sebességgel járó időmegtakarítást és kényelmet, mint a vele kapcsolatos, a növekvő veszélyekből és anyagi áldozatokból adódó nem csekély hátrányokat. A küszöbön álló szuperszónikus polgári repülés, a 200 km/ó-nál nagyobb sebességű vasutak és gépkocsik nagy műszaki sebességének attraktivitása mellett azonban nem kevésbé fontos az a sebességnövekedés, amely — talán kevésbé látványosan — a jobb szervezésből, fejlettebb technológiákból, a korszerű koordinációból adódóan jelentkezik, a végső soron döntő eljutási, illetőleg utazási sebesség, valamint az áruszállítás kereskedelmi sebességének növekedése, s így a *tényleges időmegtakarítás* tekintetében.

Az áruszállításhoz és utazáshoz szükséges idő szüntelen rövidülése — párosulva a közlekedés rendszerességével, megbízhatóságával, az azonos színvonalú szolgáltatások költségráfordításainak viszonylagos csökkenésével — hatalmas ösztönző ereje és lehetősége a forgalom térbeli kiterjedésének, a *nemzetközi forgalom részaránya szüntelen növekedésének*.

Napjainkban a Földgolyó — képletesen szólva — valóban szemlátomást „összezsugorodik”, az ember egyre kevésbé egy város, egy ország lakója, szükségleteinek kielégítője pedig egyre inkább az egész világ. Ez az oka annak, hogy a határokon túli közlekedési kapcsolatok problémáinak, a *nemzetközi közlekedéspolitika* kérdéseinek jelentősége és időszerűsége a legutóbbi időkben annyira megnövekedett, hogy e kérdések a tudományos kutatómunkában is egyre szélesedő területet nyitnak.

## II.

A közlekedéspolitikáról szólva emlékeztetnem kell arra, hogy másfél-két évtizeddel ezelőtt, amikor a hazai közlekedéstudományok bázisait megalapoztuk és szocialista népgazdaságunk fejlődése, kibontakozása nagy lendületbe jött, sok vita folyt arról, hogy a tervgazdálkodás viszonyai közt van-e létjogosultsága a viszonylag önálló *közlekedéspolitikának*, s ha igen, mit kell ezen érteni, hogyan viszonylik a közlekedéspolitika a tudományokhoz, ezen belül is a közlekedéstudományhoz. Hasonló problémák a többi szocialista országok szakembereit is foglalkoztatták.

Azóta ezeket a kérdéseket — úgy érzem — jórészt sikerült eredményesen megválaszolni, amiből hazai szakembereink is kivették a részüket, több vonatkozásban nemzetközi szinten is élenjáróan, főleg a közlekedéstudományok rendszertani problematikájának művelése során. A magam részéről egy 1959-ben tartott akadémiai előadásban vázoltam erre vonatkozó nézeteimet és foglaltam össze a hazai kutatások eredményeit.

Ma örömmel regisztrálhatom, hogy akkori felismeréseink helyeseknek bizonyultak, a közlekedéspolitika tudományos és gyakorlati vonatkozásaira kidolgozott téziseinket az élet beigazolta.

Napjainkban már alig vitatkozunk azon, hogy a közlekedéspolitika — lényegét tekintve — *gyakorlati tevékenység*, integráns része az önálló életet élő és gazdálkodó közösségek, elsősorban az államok gazdaságpolitikájának, ezen belül azonban viszonylag önálló, sajátos politikai irányítási funkció, amelyet éppen tartalmi sajátosságai különböztetnek meg pl. az iparpolitikától, az agrárpolitikától, a kereskedelempolitikától, amelyek szintén a gazdaságpolitika relatíve önálló, sajátos területei.

Jórészt világossá váltak azok a kérdések is, amelyek azzal kapcsolatosak, hogy mi a hasonlóság és mi a különbözőség a *tőkés és a szocialista közlekedéspolitika között*. Felismertük és általában helyesen értékeltük azt a tényt, hogy a közlekedéspolitikai irányítási funkció a különböző társadalmi-gazdasági rendszerű országokban annyiban azonos, amennyiben a közlekedés célja: a helyváltoztatás létrehozása. Ennek egyre fejlődő technikai eszközei és technológiai nem függenek a politikai rendszertől. Viszont annyiban különböző a tőkés és a szocialista rendszer, amennyiben lényegesen más lehetőségeket ad a közlekedésfejlesztés konkrét célkitűzéseinek megfogalmazásában, ezek realizálásában, az igénybe vehető módszerekben és eszközökben. Magának a közlekedéspolitikának a hatásosságához, eredményességéhez vitathatatlanul a szocialista tervgazdaság adja meg maradéktalanul a feltételeket.

Azt is már korábban kimutattuk, hogy az elmondottakból következően lehet és van is *hasonlóság* a tőkés és szocialista országok konkrét közlekedéspolitikai célkitűzéseiben, viszont vannak *különbségek* e tekintetben a szocialista országok között is, minthogy a fejlesztési célok nagymértékben függenek az illető ország meglévő közlekedési rendszerétől, adottságaitól, az ország gazdaság- és közlekedésföldrajzi viszonyaitól és sok más helyi különbségtől is.

Fontos eredménynek tartom, hogy már korábban sikerült tisztáznunk a *közlekedéspolitika és a tudomány* viszonyát. Kimutattuk, hogy noha maga a közlekedéspolitika gyakorlati tevékenység, napjainkban egyre jobban kell támaszkodnia a tudományok — elsősorban a közlekedéstudományok — eredményeire, továbbá, hogy a közlekedéspolitikai programok, koncepciók előzetes kialakításában és utólagos elemző bírálatában, értékelésében a tudományos tevékenységnek is nagy szerepe van, és hogy ezek részei a közlekedéstudományok problematikájának.

Mindezen vizsgálódások sorában azonban a közlekedéspolitikáról általában volt szó, csaknem kizárólag a nemzeti közlekedéspolitika aspektusából, és kevés figyelmet szenteltünk eddig a nemzetközi közlekedéspolitika elméleti kérdéseinek. Ezért mai előadásomban megkísérlem néhány lényeges elméleti probléma felvetését és részbeni megválaszolását, abban a reményben, hogy ezzel is elősegítem a tudományos figyelemnek erre a területére való irányítását.



## III.

Amióta az emberiség fejlődése során államok keletkeztek, azóta léteznek államközi kapcsolatok és ezek materiális hordozójaként hírközlési és közlekedési kapcsolatok is. A *nemzetközi forgalom* tehát ősi forgalmi kategória. A primitív közlekedés és hajózás évezredekben azonban a nemzetközi utas- és áruforgalomnak nem voltak komoly technikai feltételei. De amikor — a XVIII. század végén — beköszöntött az ipari és közlekedési forradalom, megindult a gőzüzemű vasutak és a gőzhajózás térhódítása, a zavartalan nemzetközi forgalom egyre több technikai, gazdasági és jogi *feltételt* támasztott. A tengerhajózásra vonatkozó alapvető elvek és nemzetközi megállapodások korábbi kialakulását követően a múlt század második felében jöttek létre a kontinentális forgalom számára olyan fontos egyezmények, mint az európai vasutak nemzetközi személy- és áruforgalmát, egyes nagy helvizek, pl. a Duna nemzetközi hajózását szabályozó megállapodások. Az új közlekedési eszközök, a repülőgép és a gépkocsi megjelenését, illetőleg széles körű használatbavételét követően ugyancsak létrejöttek és fejlődnek a nemzetközi forgalom kisebb-nagyobb térségeket felölelő szabályozásai.

Napjainkban minden ország közlekedéspolitikája fokozott figyelmet fordít a nemzetközi személy- és áruforgalmat szolgáló közlekedési létesítmények, berendezések és járműpark fejlesztésére, az ország érdekében álló export, import és — különös nyomatékkal — a tranzit-, illetőleg a külföldön teljesített szállítások lehetőségeinek biztosítására, fejlesztésére. Általános a törekvés, hogy egyfelől az ország vasúti, közúti, légi és vízi járművei a szükséges mennyiségben akadálytalanul közlekedhessenek más országok vasútjain, közútjain, vízi útjain, illetőleg teljesíthessék utas- és áruforgalmi funkcióikat idegen vasútállomásokon, kikötőkben, repülőtereken, másfelől az idegen járművek akadálytalanul használhassák az ország közlekedő útjait és berendezéseit.

Ily módon napjainkban minden állam közlekedéspolitikája egyaránt felöleli az ország *belső* szállítási szükségleteit és az ország érdekében álló *nemzetközi* kapcsolatokat kielégíteni hivatott közlekedésfejlesztési célkitűzéseket.

Ez a kétféle fejlesztési célkitűzés, illetőleg irányító tevékenység gyakran részben vagy teljesen egybeesik, mint pl. egyes vasútvonalak vagy a gépkocsi-forgalomra alkalmas közutak esetében, amelyeknek fejlesztését mind a belföldi, mind a nemzetközi forgalom megköveteli. Máskor — mint pl. a legutóbbi évektől hazánkban — egy egész közlekedési ágazat: a repülés fenntartása és fejlesztése teljesen a nemzetközi forgalmat szolgálja. Ismét más esetekben, mint pl. a nemzetközi útvonalaktól elzárt belföldi vízütrendszerek esetében, a fejlesztés csaknem kizárólag a belső, helyi igények szerint történik. Az azonban megállapítható, hogy a rohamosan növekvő nemzetközi személy- és áruforgalom igényei egyre nagyobb mértékben beleszólnak a belföldi célú

közlekedési létesítmények fejlesztésébe is, egyes létesítmények pedig — egyre nagyobb számban — kifejezetten a nemzetközi forgalom igényei miatt jönnek létre.

Ez a fejlődési folyamat azt jelenti, hogy a nemzeti keretben és érdekekkel megvalósuló *nemzeti közlekedéspolitikának* van egy olyan egyre bővülő szektora, amely *nemzetközi jellegű*, minthogy legalább két, de gyakran több, sőt igen sok állam nemzeti érdekeinek egyeztetésével létrejövő közlekedési kapcsolattal foglalkozik. Sok esetben az ilyen kapcsolatokat tisztán vagy jórészt közlekedési érdekek hozzák létre, gazdasági céljaik, a devizaszerzés, illetőleg megtakarítás elsődlegesen a közlekedési vállalatoknál realizálódnak. Más esetekben a kapcsolatok kiépítését magasabb nemzetgazdasági, esetleg politikai, és katonai célok motiválják, amelyekben a tisztán közlekedés-gazdasági célok és szempontok alárendeltebb jelentőségűek.

Elemezve a *nemzetközi közlekedési kapcsolatok* fejlődését, műszaki, gazdasági és jogi tartalmának sokrétűségét, sajátosságait, elvileg a következő fejlődési lépéseket különböztethetjük meg:

a) a személy- és áruforgalom számára az országhatárok egyszerű megnyitása, az utasok átszállásával, illetőleg az áruk átrakásával, ami lényegében csak a belföldi közlekedési apparátusok szakaszos igénybevételének lehetőségét jelenti,

b) a járművek átmenetének biztosítása az országhatárokon, minimális műszaki feltételek előírásával kétoldalú megállapodások alapján,

c) különböző, több országra kiterjedő nemzetközi közlekedési egyezményekhez, szervezetekhez való csatlakozás, amelyek bizonyos alapvető műszaki, forgalmi, kereskedelmi előírások, méretek, szabályok, eljárások, okmányok unifikációját vagy legalább is összeegyeztetett alkalmazását biztosítják, illetőleg különböző, a nemzetközi tapasztalatokat összegező ajánlásaikkal a fejlődést befolyásolják,

d) az előzőekkel összefüggésben a forgalom szervezésének és lebonyolításának gyakorlati összeegyeztetése, nemzetközi menetrendek, csatlakozások kidolgozása, a járművek, konténerek, rakodólapok kölcsönös használata, a különböző tartozások és követelések célszerű nyilvántartása és elszámolása stb.

e) két vagy több ország megállapodása alapján az országhatárokon átvezető nemzetközi jelentőségű közlekedő utak, létesítmények, így pl. hidak, vízilépcsők, alagutak vagy akár víziút-hálózatok, továbbá elektromos távvezetékek vagy csővezetékek közös kiépítése,

f) mint a nemzetközi kapcsolatok jelenleg legfejlettebb formációi, olyan nemzetközi organizmusok létrehozása, amelyek bizonyos meghatározott funkció vonatkozásában a közös üzem jellegét veszik fel, mint pl. az európai szocialista országok vasútainak közös kocsiparkja, az OPW szervezet,

g) végül — az előrehaladó integrációs törekvések eredményeként — olyan több, egymással szoros gazdasági egységet képező állam legfontosabb

közlekedésfejlesztési, tarifális stb. elhatározásainak többé-kevésbé egységbe foglaltan történő érvényesítése, mint amilyen a szocialista táborban a KGST, Nyugat-Európában pedig a Közös Piac.

Mindezek a fejlődési lépcsők, az ezek során született elhatározások és eredmények — a politikai, gazdasági és műszaki tényezők kényszerítő ereje mellett — lényegében a részt vevő szuverén államok akaratán alapulnak, az e téren kifejtett irányító, befolyásoló tevékenység pedig része az illető országok közlekedéspolitikájának. Létrejöttük során számtalan nemzeti érdeket kellett és kell egyeztetni, amelyek közt ellentétes és hasonló vagy azonos érdekek egyaránt hatnak. A tartósan hasonlóknak vagy azonosnak mutakozó érdekek hozták létre a fő közlekedő utak kapcsolatait, alakították ki a „nemzetközi” hálózatokat, hozták létre a nemzetközi személy- és áruszállítás számtalan műszaki, forgalmi, kereskedelmi és jogi előírását, szabályát. A hosszú éveken, évtizedeken át létrejött és életképesnek bizonyult közlekedési kapcsolatok azután — mint adottságok — döntően befolyásolják a további fejlődést. Mint jellemző példát említhetem a vasútnál az automatikus járműkapcsoló készülék bevezetésének szándékát, amely — éppen az intenzív nemzetközi forgalom miatt — megvalósíthatatlan volna az európai vasutak teljes egyetértése nélkül.

Mindezek után tehát azt a kérdést, hogy milyen értelemben létezik ma *nemzetközi közlekedéspolitika*, a következőképpen válaszolhatjuk meg:

- a szuverén államoknak a *nemzeti gazdaság-, illetőleg közlekedéspolitika keretében*, annak egy szektoraként, közvetlen elhatározásokban és irányító tevékenységben érvényesülő nemzetközi közlekedéspolitikája,
- egyes államok általános politikai, illetőleg gazdasági tömörülése, *integrációja vezető szerveinek közlekedéspolitikája*, amely szerves része az államközösség gazdaságpolitikájának, csakúgy, mint ahogyan a nemzeti közlekedéspolitika része a nemzeti gazdaságpolitikának.

Az államok szabad elhatározásából létrejött nemzetközi közlekedési szervezeteknek, vállalkozásoknak egy-egy közlekedési ágazatra, szakterületre kiterjedő *parciális közlekedéspolitikája*, amiben a részt vevő államok elhatározása közvetve érvényesül.

Ilyen, *szűkebb értelemben* tehát nemzetközi közlekedéspolitikája csak az önálló államoknak, illetőleg az államok politikai és gazdasági közösségeinek vagy az általuk létrehozott, két vagy több országot magában foglaló önálló nemzetközi szervezeteknek lehet, amikor is azonban a közlekedéspolitika — mint államvezetési tevékenység — gyakorlóit közvetlenül vagy közvetve az önálló államok, azok közlekedési kormányzatai.

Tágabb értelemben azonban, amikor nem a közlekedéspolitikát gyakorló állam vagy szervezet uralmi területét, viszonylag egységes közlekedésfejlesztés-

tési koncepcióit nézzük, hanem *geográfiai egységekben* gondolkozunk, szokás beszélni pl. európai közlekedéspolitikáról, noha kontinensünk a politikai hatalom szempontjából nagyon is megosztott. Ilyenkor voltaképpen arról van szó, hogy az adott térségben az egyes államok, illetőleg azok csoportosulásai vagy szervezetei milyen közlekedésfejlesztési célokat követnek, és főleg, hogy ezekben mi a közös vonás, mik azok a fejlesztési gesztiók, amelyek elősegítik a nemzetközi forgalom további fejlődését.

Minél jobban fejlődik a nemzetközi forgalom, annál bonyolultabbá válnak azok a relációk, amelyekben gondolkozunk, élnünk és adott esetekben döntünk kell. Nehéz és bonyolult, *tudományos igényű vizsgálati feladatok* adódnak pl. olyankor, amikor számszerűen is ki akarjuk munkálni valamely közlekedési kapcsolatunk aktív és passzív hatásait. Ilyenféle problémák pedig egyre nagyobb számban merülnek fel, ahogyan a nemzetközi munkamegosztás és kooperáció bővül, illetőleg az idegenforgalom növekszik. E *nehézségek* közül csak néhányat említünk:

- az a tény, hogy adott közlekedési kapcsolat hatékonysága önmagában nem, hanem csak az általa létrehozott teljes termelési-elosztási folyamat keretében bírálható,
- az a körülmény, hogy egy bonyolultabb nemzetközi kooperáció gazdasági eredményei különböző országokban különböző szinteken realizálódnak,
- az az adottság, hogy a nemzetközi forgalomban is széles körű szubsztitúciós lehetőségek állnak fenn az egyes közlekedési ágazatok, illetőleg két- vagy több ágazatot foglalkoztató kombinációs megoldások közt,
- végül az optimum-kritérium tisztázatlansága a nemzetközi közlekedési kapcsolatokban.

Engedjék meg, hogy e két utóbbi, sok tekintetben összefüggő problémával külön is foglalkozzam.

Mindaddig, amíg egy adott szállítási feladat belföldön merül fel, a meglevő vagy létesítendő közlekedési megoldás változatai közül a leghatékonyabb kiválasztása elvileg tisztázott és jórészt módszertanilag is — nem kis részben hazai kutatóink úttörő munkásságának eredményeként — lényegében megoldottnak tekinthető. Akár vállalati, akár ágazati vagy éppen népgazdasági szinten történik a vizsgálat, az optimum-kritérium megfogalmazható és ennek függvényében a paraméterek, illetőleg mutatószámok kialakíthatók és többkevesebb nehézséggel jórészt számszerűsíthetők is.

Más a helyzet azonban a *több ország* közlekedési rendszerére kiterjedő koordinációs problémák megoldásában, ahol szintén felvetődik — egyre sűrűbben — olyan kérdés, hogy milyen közlekedési eszközt vagy kombinált

szállítást vegyünk igénybe vagy fejlesszünk ki. Még ez is viszonylag egyszerűbb kérdés, ha egyetlen ország tulajdonában levő közlekedési eszközöket kell összehasonlítani, mint pl. az export-import forgalomban Duna-tengerjáró hajóink, illetve camionjaink igénybevételét. Ha azonban több ország tulajdonát képező szállítóeszközök vagy éppen kiépítendő útvonalak kérdésében kell döntenet, akkor a vele összefüggő műszaki-üzemi és gazdasági problémákat — véleményem szerint — meg kell vizsgálni:

- közlekedésgazdasági bázison, a részt vevő országok gazdasági és más érdekeitől függetlenül, tehát tisztán mint közlekedési-szállítási konstrukciót,
- a részt vevő országok parciális nemzetgazdasági, közlekedési és más érdekei szempontjából,
- a részt vevő országok összességének a közlekedési szempontokon túlmenő, magasabb politikai, honvédelmi és integrációs gazdasági érdekei szempontjából,
- és mindezt nemcsak statikusan, hanem dinamikusán, a várható nagyobb távlatú fejlődés, a tudományos igényű prognózisok tükrében is.

Nézetem szerint ezek a bonyolult, *többsíkú vizsgálatok* nagyobb teret nyernek majd a következő évek közlekedéstudományi munkájában, minthogy a nemzetközi közlekedési kapcsolatok rohamos további bővülésével, kiszélesedésével kell számolnunk.

Tisztán kell látnunk ugyanis, hogy napjainkban, a tudományos technikai forradalom korában a nemzetek közti gazdasági kooperáció egyre inkább *gazdasági integrációvá* válik. Ennek alapvető okai: az automatizált, csak nagy szériában gazdaságos, specializált termelés, új, nagy tőkebefektetést, egy-egy ország gazdasági erőforrásait felülmúló iparágak keletkezése, olyan természeti erőforrások kihasználásának sürgető szüksége, amelyek túlnyúlnak az országhatárokon. Elsődlegesen ide tartozik az országhatár közelében fekvő nyersanyagoknak a másik ország részéről való hasznosítása is. Ez a folyamat napjainkban világtendencia, a tőkés és a szocialista világban egyaránt érvényesül, minthogy lényegében azonos tudományos-technikai bázison alapul. Mint azonban általában, a társadalmi-gazdasági fejlődés minden vonatkozásában, itt is előnyben vagyunk a kapitalista országokkal szemben, mert a szocialista integráció révén teljes mértékben kihasználhatjuk a szocialista tulajdonviszonyokból, a tervgazdálkodásból, az erők nagyarányú koncentrációjából származó lehetőségeinket. A közeli években tehát a KGST országok gazdasági integrációjának további erőteljes kibontakozását várhatjuk és az ezzel együttjáró nemzetközi közlekedéspolitikai problémák sokasodását. Minthogy pedig egyfelől a nyugati országok integrációja is előrehalad, másfelől velük a szá-



munkra előnyös kapcsolatokat is fejleszteni kívánjuk, a nemzetközi közlekedéspolitikai problematikája ezen a területen — a szocialista és tőkés országok, illetőleg gazdasági integrációk relációjában — is tovább fog bővülni.

#### IV.

Ezek után — úgy vélem — nem lesz érdektelen röviden áttekinteni azokat a közlekedésfejlesztési törekvéseket, koncepciókat, amelyek ma *Európában* érvényesülnek, azaz a bennünket elsősorban érdeklő kontinens közlekedéspolitikáját az említett tágabb, geográfiai értelemben megvizsgálni.

Elemmezve az európai tőkés és szocialista országok közlekedéspolitikáját, megállapítható, hogy vannak bizonyos általános alapelvek, amelyekben szinte teljes egyöntetűség érvényesül, vannak olyan problémák, amelyekben viszonylagosan azonos vagy hasonló az európai országok felfogása, végül vannak eltérések, sőt ellentmondások is az egyes országok közlekedésfejlesztési törekvéseiben.

Anélkül, hogy a teljesség igényével kívánnánk fellépni, megemlítem e három kategóriába tartozó tendenciák közül a legfontosabbakat.

Lényegében *nézetazonosság* állapítható meg a következő alapelvekben:

- A közlekedés növekvő fontosságának felismerése, önálló nemzetgazdasági ágazatként való kezelése.
- A közlekedés egységének felismerése, a vasúti, közúti, vízi és légi közlekedés, a vezetékes szállítás összehangolt, koordinált működtetésének és fejlesztésének igénye.
- A nagyobb távlatokkal számoló közlekedéspolitikai koncepció szükségessége.
- A tudományos-technikai fejlődés eredményeinek maximális kihasználása a közlekedés fejlesztésében.
- A nemzetközi kapcsolatok kiemelt kezelése a kibontakozó gazdasági integráció időszakában.

Többé-kevésbé *hasonló nézetek*, illetőleg a problémák súlyának hasonló megítélése állapítható meg — többek közt — abban, hogy

- a magántulajdonú gépkocsira való igényt fenntartás nélkül elismerik és általában a közúti gépjármű-forgalom további erőteljes növekedésével számolnak,
- a magántulajdonú személygépkocsi forgalmának mérséklésére a közforgalmú közlekedési eszközök attraktivitásának, használati értékének növelését látják a legfőbb megoldásnak,

- a vasutat továbbra is alapvető vagy legalábbis társadalmi és állami érdekből fenntartandó és fejlesztendő ágazatnak tekintik,
- a közlekedési ágazatok versengésében az egyenlő gazdasági start-feltételeket, így elsősorban a pályaköltségek arányos és igazságos ráterhelését kívánják megvalósítani,
- kívánatosnak és szükségesnek tartják a különböző közlekedési ágazatok minél szorosabb kooperációját, a kombinált szállítások körének szélesítését, s ezzel összefüggésben a korszerű áruszállítási eszközök használatát, főként a konténerizáció erőteljes fejlesztését,
- a légiközlekedésben elengedhetetlennek tekintik a legkorszerűbb, leggyorsabb repülőgépek fogadási lehetőségeinek biztosítását,
- a városi közlekedésben a forgalom többszintű elválasztását és a többi közforgalmú közlekedési eszközökkel kooperáló gyorsvasúti hálózatok kiépítését vallják a problémák fő megoldási irányának.

*Az eltérések és ellentmondások az európai országok közlekedéspolitikájában főleg*

- az eltérő gazdasági és közlekedésföldrajzi viszonyokból,
- az ipari struktúra és fejlettség különbözőségeiből,
- az életszínvonal-különbségekből,
- a meglevő közlekedési rendszer adottságaiból,
- a szocialista és a tőkés rendszer alapvető különbségeiből adódnak.

Engedjék meg, hogy az elmondottakat néhány példával illusztráljam.

Ismeretes, hogy 1957-ben hat európai ország: Belgium, Franciaország, Hollandia, Luxemburg, a Német Szövetségi Köztársaság és Olaszország megalakították az *Európai Közös Piacot* és messzemenő gazdasági integrációs célokat tűztek ki. A vámunió és a közös mezőgazdasági piac lényegében megvalósult, de a tényleges szabad árucserre forgalmat még sok ellentétes érdek akadályozza. Különösen áll ez a közös közlekedéspolitika kialakítására, amelynek alapvető céljait három pontban rögzítették:

1. A forgalom zavartalanságát gátló akadályok megszüntetése az általános közös piacon.
2. A közlekedés integrációja a közösségben.
3. A közlekedési piac szabályozása.

Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy ha van is bizonyos előrehaladás, a program maximalistának bizonyult, a részt vevő országok közlekedéspolitikájának divergáló tendenciái miatt. Így pl. Hollandia álláspontja szembenáll a többi országokéval, főleg a vasút szerepe, állami támogatása

tekintetében. Hollandiában a vasutak nem élveztek elsőbbséget. Ezzel szemben az NSZK-ban és Franciaországban a közlekedéspolitika hangsúlyozottan számol a vasúti közlekedéssel, annak „közszolgáltatás” jellegével. Ilyen és hasonló eltérések miatt nem értek el kielégítő eredményeket a közlekedési infrastruktúra fejlesztésében, némely országban egyes helyi közlekedő utak fejlesztését a közös érdekek elé helyezik. A közlekedés integrációjában is csupán részsikereket értek el, noha az célkitűzésében is csak a vasúti, közúti és vízi közlekedésre terjedt ki, a légiközlekedésre és a tengerhajózásra nem. Teljesen sikertelen maradt eddig pl. a rajnai hajózás beillesztése a közös közlekedéspolitikába. A legnagyobb közlekedéspolitikai viták pedig a közlekedés külön piaci szabályozását, az állami beavatkozás mértékét érintik. Azt remélték, hogy a liberalizálás automatikusan vezet a harmonizálódás, az eltérő termelői és fogyasztói érdekek kiegyenlítődése felé, de ebben természetesen csalódnunk kellett. A versenyfeltételek kiegyenlítése terén eddig csak igen szerény eredményeket értek el. Különösen azok a tagországok mutatnak tartózkodást a liberalizálási intézkedésekkel szemben, amelyeknek nagy tranzitforgalmuk van.

Mindezek számunkra is igen tanulságosak és egyben bizonyítják azt az előző tételünket, hogy általában a gazdasági integráció, ezen belül a közös közlekedéspolitika megvalósításában a szocialista tervgazdaságot folytató országok sokkal előnyösebb helyzetben vannak, mint a tőkés államok. Mindazonáltal a tőkés gazdasági integráció is törvényszerűen megy végbe — miként azt az előbbiekből kifejtettük — és ezt a tényt a mi közlekedéspolitikánkban nagy hiba volna figyelmen kívül hagyni. Észlelni lehet ugyanis olyan jelenségeket, hogy az említett országok nemzeti közlekedéspolitikájában bizonyos változások éppen a Közös Piachoz való tartozás következtében valósulnak meg, mint amilyen pl. legújabbán az NSZK közlekedéspolitikájának bizonyos fokú liberalizálódása, az állami beavatkozás csökkenő tendenciája.

A közös piachoz nem tartozó országok közül kétségtelenül nagy figyelmet érdemel *Nagy-Britannia*, a vasút őshazája, noha szigetország jellegéből adódóan helyzete erősen sajátos, ami — többek közt — a tengerhajózásban való alapvető érdekelttségében és a belvízi hajózás iránti mérsékeltbb érdeklődésében nyilvánul meg. Mindenesetre az a tény, hogy az ország léte alapvetően a tengerentúli kereskedelemtől függ, Angliát különösen fogékonnyá teszi a közlekedés problémái iránt. Ez megmutatkozik abban is, hogy az angol törvényhozás az utóbbi években több törvényt alkotott, amelyek azt a meggyőződést tükrözik, hogy a mai közlekedés kulcskérdése az egész közlekedési rendszer racionalizálása és integrációja. Ennek keretében fejlesztik gyors ütemben a nagyszállítótartályos forgalmat, a vasúti ún. Freightliner-rendszert, ami összekapcsoltan jelentkezik a körzeti állomási rendszer radikális kiépítésével és a kisforgalmú vasútvonalak likvidációjával. Figyelmet érdemelnek — a rendkívül erős és fejlődő közúti forgalom mellett — a közhasználatú személy-

forgalom fejlesztésére irányuló törekvések is, különösen Nagy-London körzetében, amivel egy külön, 1969. évi törvény, a *London Transport Act* foglalkozik. Hasonló, az agglomerációs térségek összehangolt közlekedésének megoldására irányuló törekvések más országok közlekedéspolitikájában is igen figyelemreméltóak.

A skandináv államok közül *Svédország* különösen aktív közlekedéspolitikát valósít meg. 1963-ban a parlament háromlépcsős programot fogadott el. Alapvető, hogy minden közlekedés-hordozótól megkövetelik: fedezze mindazokat a költségeket, amelyeket a társadalomnak okoz. Az egyenlő startfeltételeket a gépjárművek fokozott adóztatásával kívánják biztosítani. Emellett a piacot messzemenően liberalizálták. Odáig mentek, hogy eltörölték a vasút klasszikus fuvarozási kényszerét. Ahol pedig a kisforgalmú vasútvonalakat közérdekből nem engedik likvidálni, az állam, — csakúgy, mint Angliában és más országokban — kalkulatív alapon megtéríti a vasút veszteségeit.

Az eddig nem említett országok közül Svájc és Ausztria helyzetét, illetőleg közlekedéspolitikáját a jelentős tranzitforgalom, az idegenforgalom elősegítési szándéka befolyásolja erőteljesen. *Svájc* közlekedéspolitikája — amelynek összkoncepcióján most dolgoznak — több tekintetben még liberálisabb felfogású, mint a Közös Piac mértékadó országaié, azonban a közlekedési verseny ún. „torzulásai” ellen kívánnak fellépni. A velünk szomszédos *Ausztriában* ugyancsak kidolgoztak egy összközlekedési koncepciót, amelynek realizálása valamennyi közlekedési ágazat vonatkozásában — éppen a közvetlen kapcsolatok miatt — hazánkat is közelebbről érinti.

Ami pedig az európai szocialista országokra vonatkozik, e tekintetben elsősorban a *Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa* keretében folyó közlekedéspolitikai tevékenységgel kell foglalkoznunk.

A KGST bizonyos alapvető közlekedési kérdésekkel ugyan már régóta foglalkozik, azonban Közlekedési Állandó Bizottsága csak 1958-tól működik.

Ennek magyarázata a Szovjetunió és a többi szocialista országok általános gazdasági és közlekedési viszonyaiban, főleg abban a tényben található, hogy országainkban a második világháború utáni időkben a vasút látta el a szállításoknak átlagosan mintegy 90%-át. A szocialista országok vasútainak pedig már régebben megalakult a nemzetközi szervezete, a Vasutak Ügyvezető Irodája (BUD), majd a Vasutak Együttműködési Szervezete (OSZZSD). Már korán kidolgozták a szocialista országok a vasúti személy- és áruszállítás fuvarjogi szabályozásait és díjszabásait is. Így tehát a szocialista tábor országai egymás közti nemzetközi forgalmának alapvető feltételeit mindezek sokáig kielégítően biztosították.

A későbbi években azonban a vasút mellett a közúti közlekedés erőteljes felfutása és a nemzetközi forgalomba való bekapcsolódása, a nemzetközi hajóforgalom növekvő fontossága, és általában a közlekedési együttműködés

magasabb színvonalú formái és módjai iránti igény növekedése — nem utolsósorban a közlekedés infrastruktúra-fejlesztésének összehangolása — motiválták, hogy országaink magasabb, államközi szinten, a KGST keretében is rendszeresen és behatóan foglalkozzanak a közlekedés problémáival.

A Közlekedési Állandó Bizottság fennállásának 12 éve alatt számos fontos, konkrét eredmény született.

Ilyen például a *Közös Teherkocsi Park*, az OPW szervezet, amelynek létrehozása — noha önmagában nem jelentette a vasúti kocsipark bővítését is — a járművek jobb kihasználása révén számottevő szállítási kapacitás-növekedést eredményezett.

Egy másik közös intézmény, a *Hajóbérlő és Koordináló Iroda* a tagállamok tengeri hajóterének célszerű kihasználását segíti. Tőkés hajóbérlet szükségése esetén a tagállamok számára megfelelő információkat, illetőleg prognózisokat készít a piaci viszonyokról, azok várható alakulásáról. Eredményes működése hozzájárult ahhoz, hogy — a külkereskedelmi áruk tengeri fuvarozásának állandó növekedése mellett — javult a szocialista országok hajótere koordinált felhasználásának aránya a tőkés hajóter bérbevételi arányával szemben.

Egy rendkívül időszerű és nagysúlyú, még előttünk álló feladat — amiről példaként már előbb említést tettem — az *önműködő vasúti kocsikapcsoló készülék* bevezetése. A Szovjetunióban, az USA-ban, Japánban, Koreában és Kínában már nem ismerik a vasúti járművek kézi kapcsolásának veszélyes és megerőltető munkáját. Európa azonban — történelmi, műszaki és gazdasági okokból — e téren elmaradt a fejlődéstől: jelenleg kontinensünkön mintegy 2 millió vasúti járművet kapcsolnak kézi erővel. Pedig az önműködő kapcsolókészülék nélkül nem lehetséges az előrehaladás a vasúti üzem automatizálása területén sem. Bevezetése viszont — számos más előnye mellett — egyedül a rendezőpályaudvari kapacitásban mintegy 10%-os növekedést biztosíthat.

E hatalmas, az európai vasutaknál mintegy 2 milliárd dollár értékű átszerelési munka első fázisa 1976—78 közt esedékes, ekkor kell a nemzetközi forgalomban közlekedő kocsiparkot ilyen készülékkel felszerelni, később kerül sor a kocsipark többi részére. Magyarországon már az első fázisban is több tízezer vasúti kocsirol van szó. Nyilvánvaló, hogy e nagy mennyiségű és darabonként majdnem 1 tonna súlyú készülékek legyártása hatalmas ipari feladat is, amelynek kooperációs lehetőségeit most vizsgálják.

A KGST államok nagy figyelmet fordítanak a *konténerizáció* koordinált fejlesztésére is. Ez rendkívül komplex kérdés, amely a közlekedés mellett az ipar, a külkereskedelem és más szektorok bevonását is igényli. Az eddigiiek során kialakították a külkereskedelmi szállításokhoz legalkalmasabb konténer-típusokat, egyeztették azok műszaki paramétereit. Ennek alapján több országban, így hazánkban is megkezdődött a nagy befogadóképességű, korszerű



konténerek gyártása. E rendkívül hatékony, nagy jövőjű rendszer természetesen speciális járművek, illetőleg rakodógépek kialakítását is igényli.

Külön előadást érdemelne annak áttekintése is, hogy a közlekedési érdekű *műszaki-tudományos kutatásokban* a KGST országainak — a legkülönbözőbb együttműködési formák keretében — mit sikerült közös munkával, tehát gazdaságosabban és hatékonyabb módon elérniök.

Bármilyen jelentős volt is azonban a KGST országok közlekedési együttműködése, az erősödő gazdasági integráció további, magasabb szintű kooperációt igényel. Az eddigi tapasztalatok során kikristályosodott a tagállamok érdekeltségi köre és számos fontos témát sikerült egyeztetni, amelyeket a komplex integrációs programba való felvételre a közlekedés oldaláról javasolni lehet. A *közlekedési integrációs program-tervezet* kidolgozásánál abból indultak ki, hogy mindenekelőtt a már meglevő — lényegében integrációs jellegű — szervezetek bővítését, továbbfejlesztését kell célul kitűzni. A további munka új szervezetek, formák és lehetőségek feltárására irányul.

A következőkben felsorolom azokat a főbb közlekedési feladatokat, amelyek a KGST keretében megvizsgálásra és a szocialista országok integrációs programjába való felvétel keretében döntésre várnak:

- az OPW fejlesztése,
- egységes konténer-fuvarozási rendszer és a későbbiekben közös konténerpark létrehozása,
- az önműködő vasúti kocsikapcsoló készülék bevezetése,
- az elektronikus számítástechnika széles körű alkalmazása,
- a nemzetközi személyszállítás komplex fejlesztése (beleértve esetleg közös háló- és étkezőkocsi-társaság alakítását is),
- a nemzetközi autóbushafuvarozók egyesülésének létrehozása,
- a nemzetközi gépjárműközlekedési menetirányító diszpécser rendszer kialakítása,
- együttműködés a gépjármű szerviz- és garázsberendezések gyártása terén,
- a légi vállalatok közötti együttműködés fokozása,
- a közös repülésirányítás, a személyzet közös kiképzése,
- nemzetközi tudományos-kutató központok létrehozása és még sok más.

## V.

Engedjék meg, hogy befejezésül *Magyarországnak* az európai közlekedésben elfoglalt helyzetével, nemzetközi kapcsolataink eddigi eredményeivel és további feladataival foglalkozzam.

Olyan közismert tények, mint hazánk geográfiai fekvése Közép-Európában, valamint nyersanyag- és energiakészleteink adottságai, népgazdaságunk

„nyílt” jellege, továbbá szoros politikai-gazdasági kapcsolataink a Szovjetunióval és a többi szocialista országgal, bővülő kereskedelmi kapcsolataink a tőkés világgal adják okát és magyarázatát annak, hogy Magyarország a nemzetközi forgalomban különösen érdekelt országok közé tartozik.

Az az általános fejlődési tendencia, amelyet előadásom bevezetőjében vázoltam, a *magyar közlekedés teljesítményi adataiban* is jól tükröződik. Vasutaink teljesítményeiben az export-import- és tranzitforgalom árutonnakilométerben az összforgalom 46%-a. A MAHART szállítási tevékenysége 90%-ban, a MALÉV-é pedig 100%-ban nemzetközi jellegű. Az önálló Hungarocamion vállalat létrehozásával a legutóbbi években a közúti áruforgalom — egyébként ma még csekély — volumene is gyorsan növekszik: 5 év alatt több mint kétszeresére emelkedett. Az ugyancsak gyorsan fejlődő csővezetékes szállításnak több mint 35%-a jut az import forgalomra.

Mindezek folytán a magyar közlekedéspolitika az elmúlt évtizedekben nagy gondot fordított arra, hogy mind erőteljesebben részt vegyen abban a sokrétű *nemzetközi tevékenységben*, amely a közlekedés szakterületén kifejlődött, elsősorban természetesen a szocialista országok relációjában, de — érdekeinknek megfelelően — a tőkés viszonylatokban is.

A KGST-ben való aktív részvétel, a szocialista gazdasági integráció kifejlesztése a Magyar Népköztársaság politikai és gazdasági törekvéseinek szerves része. Ennek megfelelően a magyar közlekedéspolitika messzemenően támogatni és elősegíteni törekszik a szocialista országok közlekedési integrációját, amely egyfelől feltétele, másfelől — sok vonatkozásban — úttörője, kezdeményezője is a szélesebb körű gazdasági integrációnak.

A szocialista nemzetközi munkamegosztás és kooperáció — hangsúlyozottan a közlekedés területén — szervesen beilleszkedik az egész világon fejlődő munkamegosztás és kooperáció folyamatába és erősíti a *két világrendszer békés egymás mellett élésének* gazdasági alapjait is.

Jellemző, hogy az ENSZ Európai Gazdasági Bizottságának több mint két évtizedes fennállása során megalkotott 25 nemzetközi egyezményből 23 közlekedési tárgyú. Az sem véletlen, hogy a Varsói Szerződés tagállamainak külügyminiszterei által az Európai Biztonsági Konferencia napirendjére javasolt gazdasági együttműködési kérdések közt több közlekedési téma is felvetődött, amelyek hozzájárulhatnak az európai gazdasági kapcsolatok kiszélesítéséhez és ezen keresztül nagy politikai céljaink megvalósításához is.

A közlekedés alapvető céljából és sajátosságaiból következik, hogy úttörő szerepet tölthet be a világszerte egyre jobban kibontakozó gazdasági integrációban. Az új magyar közlekedéspolitikai koncepció, amelynek alapján közlekedésünk fejlesztésén napjainkban dolgozunk, a Magyar Népköztársaság részéről szélesebb alapokat teremt a nemzetközi kapcsolatok további bővítéséhez.

Úgy vélem, nincs messze az idő, amikor az európai kontinens fő közle-

kedési útvonalai: vasútai, közutai, légi útvonalai, sőt sok tekintetben belvízi útvjai, valamint csővezeték és elektromos távvezeték hálózatai is fokozatosan egységes kontinentális rendszereket fognak alkotni, nemcsak műszaki, hanem forgalmi, gazdasági és jogi vonatkozásban is. Mindezek révén a közlekedésre hatalmas szerep vár a népek közötti, közelebbről az európai országok közötti gazdasági és politikai közeledés megteremtésében.

Közlekedésünk nemzetközi kapcsolatainak továbbfejlesztése azonban nemcsak a diplomaták kitartó türelmén és ügyességén múlik. Tény, hogy ma még — a KGST országok vonatkozásában is — jelentős különbségek vannak az egyes országok színvonala, fejlettsége között. A nemzeti érdekek sem esnek egybe automatikusan a közösség egészének érdekeivel. Ezért az objektív problémák áthidalási lehetőségeinek megkeresése, valamennyi felmerülő nemzetközi közlekedési kérdésben a helyes magyar álláspont kialakítása, továbbá aktív hozzájárulásunk a minden értelemben vett progresszív nemzetközi közlekedéspolitikai kialakításához nem nélkülözheti legjobb szakembereink fokozódó erőfeszítéseit. Ezen a területen tehát a hazai közlekedéstudományok művelőire is sok, nagy (de rendkívül megtisztelő) feladat vár.

A világ történelmi érdekeinek előterében az európai államok értekezletének mielőbbi megvalósulása áll.

Sok és nagy érdek kívánja, követeli a kormányoktól az európai tanácskozás mielőbbi megvalósulását. Mint már mondtam, az értekezlet tárgypontjai közt véleményem szerint nem lebecsülendő az európai államok közlekedési problémáinak megvitatása sem. S ez természetes, hiszen a közlekedés minden ágazata nemzetközi vetületű, érdekű és vonatkozású. A közlekedés nagyon is gyakorlati tevékenysége az európai népek kulturális, gazdasági, technikai és történelmi kapcsolataira utal. Előadásomban ezekre az általános és szükségszerű vonatkozásokra óhajtottam rámutatni.

**Theoretical and Practical Problems of International Traffic Policy.** The laws governing modern transport development — the multiplication of transportation and travelling requirements, the increase of speed — intensively stimulate the extension of traffic in space and the ceaseless increase of international transport, and provide many possibilities for both. Therefore, the scientific analysis of the bases of international transport policy is of topical interest. Starting out from the theoretical and practical laws of transport policy, explored in the earlier papers of the author, and from the development of international transport relations, the scope of scientific investigations embracing international transport policy can be circumscribed. The efforts towards economic integration of the various countries multiplies these scientific problems. A comparative review of the principles guiding transport policy, prevailing in Europe, proves, amongst others, that the countries pursuing a socialistically planned economy are in a favourable position for achieving economic integration and, within this latter, for evolving a common traffic policy.

The characteristics of Hungary's position and role in European transport point at facilitating not only the economic integration of the socialist countries, but also the creation of the economical bases for the peaceful coexistence of the two world systems.

**Theoretische und praktische Probleme der internationalen Verkehrspolitik.** Die Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung des modernen Verkehrs — Steigerung der Anforderungen an die Personen- und Güterbeförderung, Erhöhung der Geschwindigkeit sind ein kräftiger Ansporn für die räumliche Expansion des Verkehrs und bieten hierfür viele Möglichkeiten. Deshalb ist

eine baldige wissenschaftliche Untersuchung der Grundprinzipien der internationalen Verkehrspolitik außerordentlich zeitgemäß. Ausgehend von den in früheren Abhandlungen des Verfassers behandelten theoretischen und praktischen Gesetzmäßigkeiten der Verkehrspolitik und der Entwicklung der internationalen Verkehrsbeziehungen kann der zum Gebiet der internationalen Verkehrspolitik gehörige Bereich der wissenschaftlichen Untersuchungen umrissen werden. Das Bestreben nach einer wirtschaftlichen Integration der einzelnen Staaten vermehrt diese wissenschaftliche Probleme. Ein Überblick über die in Europa zur Geltung gelangenden Richtlinien der Verkehrsentwicklung und ihre vergleichende Untersuchung beweisen u.a. auch, daß die sozialistischen Länder mit Planwirtschaft hinsichtlich der wirtschaftlichen Integration, und innerhalb derselben auch der Gestaltung der gemeinsamen Verkehrspolitik, in einer günstigen Lage sind. Die Kennzeichen der Situation und der Rolle Ungarns im Europaverkehr weisen darauf hin, daß diese nicht nur die wirtschaftliche Integration der sozialistischen Länder, sondern auch die Schaffung der ökonomischen Grundlagen des friedlichen Nebeneinanderlebens der beiden Weltsysteme fördern.





# GÖMBHÉJAK ÉS FORGÁSPARABOLOIDHÉJAK ERŐJÁTÉKA KÖZT FENNÁLLÓ ANALÓGIA

CSONKA PÁL\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1970. június 11-én]

Jelen tanulmány a gömbhéj és egy hozzárendelt forgásparaboloidhéj membránerei között állapít meg kapcsolatot. A gömbhéjhoz rendelt forgásparaboloidhéj forgástengelye a gömbhéj középpontján megy át és középfelületének tengelypontbeli görbületi sugara kétszer akkora, mint a gömbhéj középfelületének sugara. A gömbhéj középfelületén fekvő pontok stereografikus vetületének a forgásparaboloidhéj középfelületének azon pontjai felelnek meg, melyek tengelyirányú vetülete a gömbi pontok stereografikus vetületével egyezik. A stereografikus vetítés a gömb középfelületének a forgásparaboloidhéj tengelyével való metszéspontjából történik. Az egymással vonatkozásba hozott kétféle héj feszültségi és terhelési viszonyai között fennálló kapcsolat célszerűen felhasználható egyes kerületi értékfeladatok megoldásakor.

## 1. Bevezetés

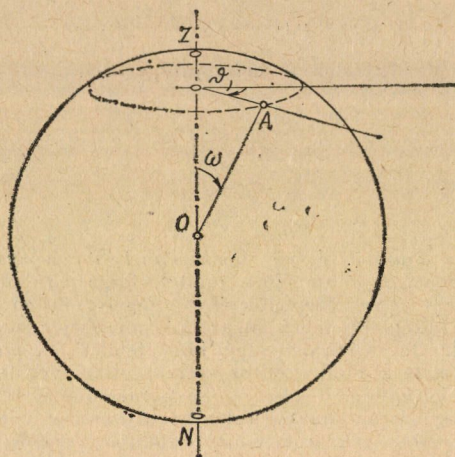
Ez a tanulmány a gömbhéj és egy alkalmas módon hozzárendelt forgásparaboloidhéj (a továbbiakban röviden: paraboloidhéj) külső és belső erői között állapít meg kapcsolatot. A szóban forgó kapcsolatok segítséget nyújthatnak az egyik héjfajtára vonatkozó egyes feladatok megoldásakor, ha a másik héjfajtára vonatkozó analóg feladat megoldása ismeretes.

## 2. A gömbhéjra vonatkozó adatok

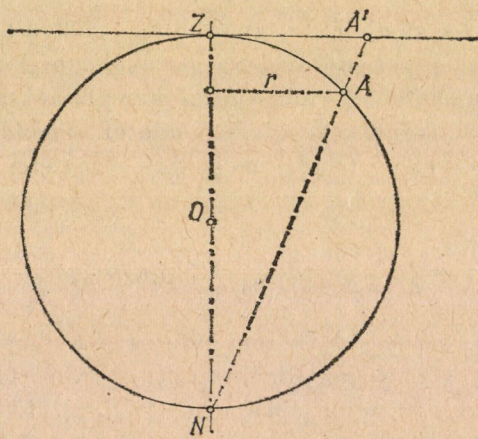
A tárgyalandó *gömbhéjak* középfelületén fekvő pontok helyzetének leírására oly  $0(\vartheta, \omega)$  gömbi koordinátarendszert vezetünk be, amelynek  $0$  kezdőpontja a gömb középpontjában van (1. ábra). E koordinátarendszer  $\omega = 0$  tengelye függélyes. E tengelynek a héj középfelületével való felső metszéspontját *Z zenitpontnak*, alsó metszéspontját *N nadirpontnak* nevezzük. A héj középfelületének  $\vartheta = \text{konst}$  vonalait *meridián vonalaknak*,  $\omega = \text{konst}$  köreit pedig *szélességi köröknek* (paralel köröknek) hívjuk. A héj középfelületén fekvő pontoknak az  $\omega = 0$  tengelytől mért távolságát  $r$  betűvel, a gömbhéj sugarát pedig  $R$  betűvel jelöljük.

\* Dr. Csonka Pál, Budapest XI. Bartók Béla út 31.

A gömbhéj középfelületén fekvő pontoknak az  $N$  pontból az  $Z$  pontbeli érintősíkra való vetülete a gömbhéj ún. *stereografikus vetülete*. A gömbhéj középfelületén fekvő  $A$  pont stereografikus vetülete  $A_3$  (2. ábra).



1. ábra. Az  $O(\vartheta, \omega)$  gömbi koordinátarendszer



2. ábra. Az  $A$  pont és stereografikus vetülete

A vetületi síkban fekvő pontok helyzetének rögzítésére a  $Z(r', \vartheta)$  poláris koordinátarendszert vezetjük be.

A gömbhéjra ható terhelésként megoszló erőket tételezünk fel. E megoszló erők meridián irányú, szélességi irányú, illetve a héjnormális irányába eső erőalkotóinak a héj középfelületének területegységére vonatkoztatott



fajlagos értékét a

$$\begin{aligned} p_1 &= p_1(\vartheta, \omega), \\ p_2 &= p_2(\vartheta, \omega), \\ p_3 &= p_3(\vartheta, \omega) \end{aligned} \quad (1)$$

teherfüggvényekkel jellemezzük.

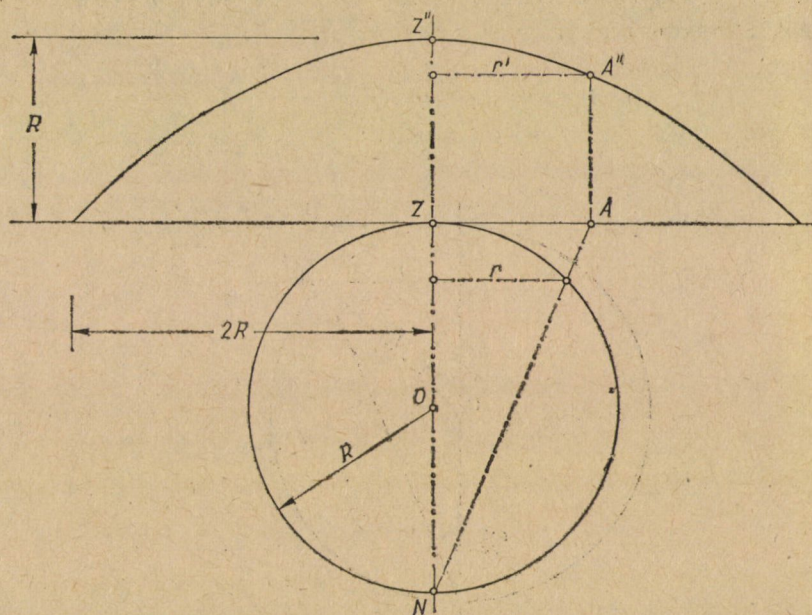
### 3. A paraboloidhéjra vonatkozó adatok

A gömbhéjjal analógiába állítandó paraboloidhéj forgástengelyéről kikötjük, hogy az a gömbhéj  $\overline{ZN}$  tengelyével essék egybe.

A forgásparaboloidhéj középfelületén fekvő pontok helyzetének leírására oly  $Z''(r', \vartheta, z)$  hengeres koordinátarendszert alkalmazunk, melynek  $z$  tengelye az  $0(\vartheta, \omega)$  gömbi koordinátarendszer  $\overline{ZN}$  tengelyével azonos, pozitív ága pedig lefelé irányul. E koordinátarendszerben a gömbhéjhoz rendelt paraboloidhéj középfelületének egyenlete

$$z = \frac{1}{4R} r'^2. \quad (2)$$

E paraboloidhéj középfelületének görbületi sugara az  $r' = 0$  pontban  $2R$ , tehát kétszer akkora, mint a gömbhéj középfelületének sugara.



3. ábra. A gömb- és paraboloidhéj középfelületének összetartozó pontjai



A gömbhéjjal analógiába állítandó paraboloidhéjon a gömb középfelületén fekvő  $A$  pontnak a paraboloidhéj középfelületén fekvő  $A''$  pont felel meg (3. ábra). E pont alaprajzi vetülete azonos az  $A$  pont stereografikus vetületével.

A gömbhéjra ható teherrendszert a paraboloidhéjra ható  $p' = p'(r', \theta)$  teherrendszerrel hozzuk vonatkozásba. E teherrendszer sugárirányú, szélességi irányú, illetve függélyes erőalkotóinak az *alaprajz* területegységére vonatkoztatott fajlagos értékét a

$$\begin{aligned} p'_1 &= p'_1(r', \theta), \\ p'_2 &= p'_2(r', \theta) \\ p'_3 &= p'_3(r', \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

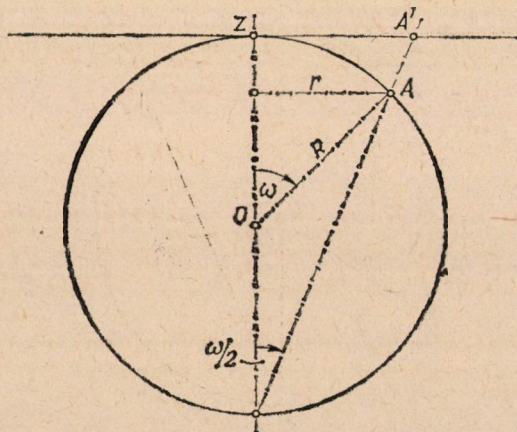
teherfüggvényekkel jellemezzük.

#### 4. Geometriai összefüggések

A gömbfelület és stereografikus vetülete, mint ismeretes, *konformis* alakzatok. Ebből következik, hogy a gömbfelület adott  $A$  pontján átmenő felületi vonalelemek tényleges hosszának és vetületi hosszának aránya az illető vonalaknak irányától független, csupán a  $z$  tengelytől mért távolságtól függő érték. Ezt az arányszámot, vagyis a tényleges és a megfelelő vetületi hosszak hányadosát  $ds/ds'$  betűjellel jelöljük.

A  $ds/ds'$  viszonyszám nyilván azonos az  $r$  és  $r'$  sugarú körök (4. ábra) kerületének hányadosával, vagyis

$$\frac{ds}{ds'} = \frac{2\pi r}{2\pi r'} = \frac{r}{r'}.$$



4. ábra. Geometriai összefüggések

Ámde

$$r : r' = (R + R \cos \omega) : 2R,$$

azaz

$$\frac{ds}{ds'} = \frac{1 + \cos \omega}{2}. \quad (4)$$

A fenti képletben szereplő  $\cos \omega$  érték meghatározására a 4. ábrából leolvasható

$$\tan \frac{\omega}{2} = \frac{r'}{2R}$$

összefüggésből indulunk ki. Innen

$$\tan \omega = \frac{2 \tan \frac{\omega}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\omega}{2}} = \frac{2 \frac{r'}{2R}}{1 - \frac{r'^2}{4R^2}} = \frac{4Rr'}{4R^2 - r'^2}, \quad (5)$$

s így

$$\begin{aligned} \cos \omega &= \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \omega}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{16R^2 r'^2}{(4R^2 - r'^2)^2}}} = \\ &= \frac{4R^2 - r'^2}{\sqrt{16R^4 + 8R^2 r'^2 + r'^4}}, \end{aligned}$$

illetve egyszerűsítés után

$$\cos \omega = \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2}. \quad (6)$$

Ugyanekkor

$$\sin \omega = \sqrt{1 - \cos^2 \omega} = \frac{4Rr'}{4R^2 + r'^2}, \quad (7)$$

s ezért

$$r = R \sin \omega = \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2}. \quad (8)$$

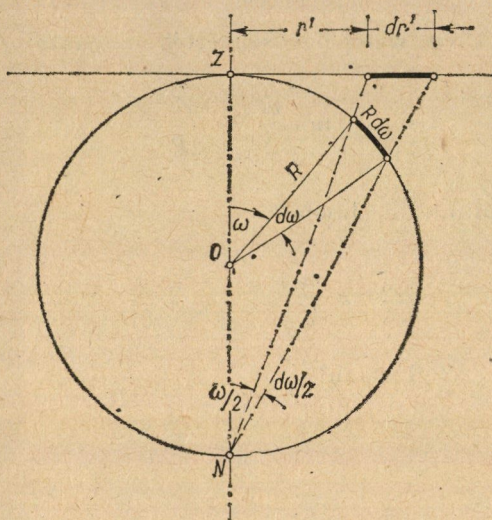
A (6) képlet hirtokában a keresett  $ds/ds'$  viszonzszám:

$$\frac{ds}{ds'} = \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2}.$$



Természetesen ugyanezen viszonyszám fejezi ki a meridiánirányban mért  $R \cdot d\omega$  vonalelemnek és az 5. ábrán  $dr'$ -vel jelölt sugárnövekménynek az rányát is, vagyis

$$\frac{R \cdot d\omega}{dr'} = \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2}.$$



5. ábra. Geometriai összefüggések

Innen

$$\frac{dr'}{d\omega} = \frac{4R^2 + r'^2}{4R}. \quad (9)$$

### 5. A gömbhéj egyensúlyi egyenletei

Jelöljük ki a gömbhéj középfelületén egy  $A$  pontot és hasítsunk ki a héjból ezen  $A$  pont környezetéből egy olyan elemi héjrészt, melynek középfelületét a  $\vartheta$  és  $\vartheta + d\vartheta$  meridiánívek, valamint az  $\omega$  és  $\omega + d\omega$  szélességi körök határolják (6. ábra).

A kihalított héjelemre ható feszítő erőknek az egységnyi metszethosszra vonatkoztatott fajlagos értékét

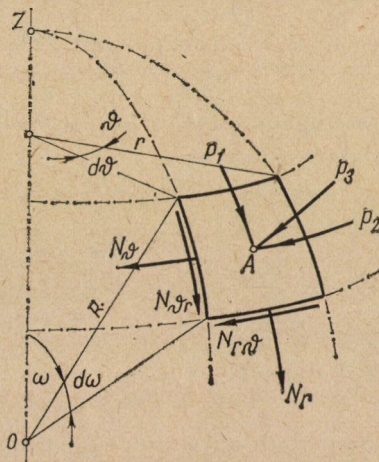
$$N_r, N_{r\vartheta}, N_{\vartheta r}, N_{\vartheta}$$

betűkkel jelöljük. Ezek közül

$$N_{\vartheta r} = N_{r\vartheta}. \quad (10)$$



A kiharított héjelemre ható erők egyensúlyát a meridiániránynak, a szélességi iránynak és a héjnormális irányának megfelelőleg az alábbi három differenciálegyenlettel fejezhetjük ki.



6. ábra. A gömbhéj  $N_r$ ,  $N_{r\vartheta}$ ,  $N_{\vartheta r}$ ,  $N_{\vartheta}$  metszeterői

### 5.1. Egyensúly meridiánirányban

A meridiánvonal irányában ható erőalkotók egyensúlyát kifejező egyenletben szerephez jut: az  $N_r r \cdot d\vartheta$  derékerő növekménye

$$\frac{\partial}{\partial \omega} (N_r r \cdot d\vartheta) d\omega;$$

az  $N_{\vartheta r} R \cdot d\omega$  nyíróerő növekménye

$$\frac{\partial}{\partial \vartheta} (N_{\vartheta r} R \cdot d\omega) d\vartheta;$$

a kétoldali  $N_{\vartheta} R \cdot d\omega$  derékerők eredőjének, vagyis az  $N_{\vartheta} R \cdot d\omega \cdot d\vartheta$  erőnek meridiánirányú alkotója

$$-N_{\vartheta} R \cdot d\omega \cdot d\vartheta \cdot \cos \omega;$$

végül a héjelemre ható külső erő meridiánirányú alkotója

$$p_1 r \cdot d\vartheta \cdot R \cdot d\omega.$$

A szóban forgó egyensúlyi egyenlet tehát

$$\frac{\partial}{\partial \omega} (N_r r \cdot d\vartheta) d\omega + \frac{\partial}{\partial \vartheta} (N_{\vartheta r} R \cdot d\omega) d\vartheta - \\ - N_{\vartheta} R \cdot d\omega \cdot d\vartheta \cdot \cos \omega + p_1 r \cdot d\vartheta \cdot R \cdot d\omega = 0.$$

Ez az egyenlet a (10) összefüggés figyelembevételével és  $R \cdot d\vartheta \cdot d\omega$ -val való egyszerűsítés után így alakul:

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \omega} (r N_r) + \frac{\partial N_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} - N_{\vartheta} \cos \omega + r p_1 = 0. \quad (11)$$

### 5.2. Egyensúly szélességi irányban

A szélességi körök irányában ható erők egyensúlyát kifejező egyenletben szerephez jut: az  $N_{\vartheta} R \cdot d\omega$  derékerő növekménye

$$-\frac{\partial}{\partial \vartheta} (N_{\vartheta} R \cdot d\omega) d\vartheta;$$

az  $N_{r\vartheta} r \cdot d\vartheta$  nyíróerő növekménye

$$\frac{\partial}{\partial \omega} (N_{r\vartheta} r \cdot d\vartheta) d\omega;$$

a kétoldali  $N_{\vartheta r} R \cdot d\omega$  nyíróerők vízszintes vetületének eredője

$$N_{\vartheta r} R \cdot d\omega \cdot \cos \omega \cdot d\vartheta;$$

valamint a héjelemre ható külső erő szélességi irányú alkotója

$$p_2 r \cdot d\vartheta \cdot R \cdot d\omega.$$

A szóban forgó egyensúlyi egyenlet tehát:

$$\frac{\partial}{\partial \vartheta} (N_{\vartheta} R \cdot d\omega) d\vartheta + \frac{\partial}{\partial \omega} (N_{r\vartheta} r \cdot d\vartheta) d\omega + \\ + N_{\vartheta r} R \cdot d\omega \cdot \cos \omega \cdot d\vartheta + p_2 r \cdot d\vartheta \cdot R \cdot d\omega = 0.$$

Ez az egyenlet a (10) összefüggés figyelembevételével és  $R d\theta \cdot d\omega$ -val való egyszerűsítés után a következőképp írható:

$$\frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \omega} (r N_{r\theta}) + N_{r\theta} \cdot \cos \omega + r p_2 = 0. \quad (12)$$

### 5.3. Egyensúly a héjnormális irányában

A héjnormális irányában ható erők egyensúlyát kifejező egyenletben szerephez jut: a kétoldali  $N_r r \cdot d\theta$  derékerők eredője

$$N_r r \cdot d\theta \cdot d\omega;$$

a kétoldali  $N_\theta R \cdot d\omega$  derékerők eredőjének, vagyis az  $N_\theta R \cdot d\omega \cdot d\theta$  vízszintes erőnek a héjnormális irányába eső alkotója

$$N_\theta R \cdot d\omega \cdot d\theta \cdot \sin \omega;$$

valamint a héjelemre ható külső erőnek a héjnormális irányába eső alkotója

$$p_3 r \cdot d\theta \cdot R \cdot d\omega.$$

A szóban forgó egyensúlyi egyenlet tehát

$$N_r r \cdot d\theta \cdot d\omega + N_\theta R \cdot d\omega \cdot d\theta \cdot \sin \omega + p_3 r \cdot d\theta \cdot R \cdot d\omega = 0,$$

illetve  $d\theta \cdot d\omega$ -val való egyszerűsítés után

$$rN_r + RN_\theta \sin \omega + Rr p_3 = 0.$$

Ámde

$$R \sin \omega = r,$$

miért is a szóban forgó egyensúlyi egyenlet így módosítható:

$$\frac{1}{R} (N_r + N_\theta) + p_3 = 0. \quad (13)$$

## 6. A paraboloidhéj egyensúlyi egyenletei

A gömbhéj középfelületén kijelölt  $A$  pontnak a vetületi síkon az  $A'$  pont, a paraboloidhéj középfelületén pedig az  $A''$  pont felel meg (3. ábra).

Hasítsunk ki a paraboloid  $A''$  pontjának környezetéből egy olyan elemi héjrészt, melynek középfelületét a  $\vartheta$  és  $\vartheta + d\vartheta$  meridiánívek valamint az  $r'$  és  $r' + dr'$  szélességi körök határolják (7. ábra). E héjrész középfelületének a vetületi síkon egy  $r'd\vartheta$ ,  $dr'$  területű elemi körgyűrű-szektor felel meg, mely — stereografikus vetítésről lévén szó — alakra nézve a gömbhéj vizsgált elemi részének középfelületéhez hasonló.

A kihalított héjelemre ható feszítőerőknek az egységnyi metszethosszra vonatkoztatott fajlagos értékét

$$N_r'', N_{r\vartheta}'', N_{\vartheta r}'', N_{\vartheta}''$$

betűkkel jelöljük. Ezek közül

$$N_{\vartheta r}'' = N_{r\vartheta}'' \quad (14)$$

A héjelemre ható feszítőerők alaprajzi vetületének a héjelem oldalának *alaprajzi hosszára* vonatkoztatott fajlagos értékét — az ún. *redukált feszítőerőket* —

$$N_r', N_{r\vartheta}', N_{\vartheta r}', N_{\vartheta}'$$

betűjelekkel látjuk el. A tényleges feszítő erők a (2) alattiak figyelembevételével a redukált feszítőerőkkel a következő kapcsolatban állanak

$$N_r'' = \sqrt{1 + (dz/dr')^2} \cdot N_r' = \frac{\sqrt{4R^2 + r'^2}}{2R} N_r',$$

$$N_{r\vartheta}'' = N_{r\vartheta}', \quad (15)$$

$$N_{\vartheta r}'' = N_{\vartheta r}',$$

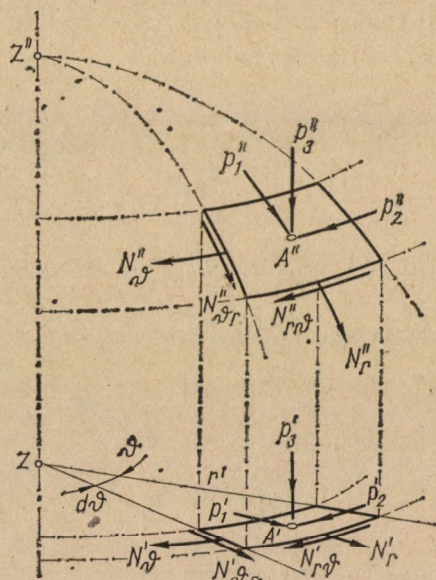
$$N_{\vartheta}'' = \frac{1}{\sqrt{1 + (dz/dr')^2}} N_{\vartheta}' = \frac{2R}{\sqrt{4R^2 + r'^2}} N_{\vartheta}'.$$

Természetesen

$$N_{\vartheta r}' = N_{r\vartheta}'. \quad (16)$$

A kihalított héjelemre ható erők egyensúlyát a redukált feszítőerők segítségével fejezzük ki. Ez a művelet a sugáriránynak, íviránynak és a függőleges iránynak megfelelőleg az előzőekhez hasonlóan három differenciálegyenletre vezet.





7. ábra. A paraboloidhéj  $N_r''$ ,  $N_{r\vartheta}''$ ,  $N_{\vartheta r}''$ ,  $N_{\vartheta\vartheta}''$  metszeterői és a redukált  $N_r'$ ,  $N_{r\vartheta}'$ ,  $N_{\vartheta r}'$ ,  $N_{\vartheta\vartheta}'$  metszeterők

### 6.1. Egyensúly sugárirányban

A sugárirányú erőalkotók egyensúlyi feltétele:

$$\frac{\partial}{\partial r'} (N_r' r' \cdot d\vartheta) dr' + \frac{\partial}{\partial \vartheta} (N_{\vartheta r}' \cdot dr') d\vartheta - \\ - N_{\vartheta} \cdot dr' \cdot d\vartheta + p_1' r' \cdot d\vartheta \cdot dr' = 0.$$

Ez az egyenlet a (16) alattiak figyelembevételével, valamint  $d\vartheta \cdot dr'$ -vel való egyszerűsítés és parciális differenciálás után így írható:

$$r' \cdot \frac{\partial N_r'}{\partial r'} + N_r' + \frac{\partial N_{r\vartheta}'}{\partial \vartheta} - N_{\vartheta}' + p_1' r' = 0. \quad (17)$$

### 6.2. Egyensúly ívirányban

Az ívirányú erőalkotók egyensúlyi feltétele:

$$\frac{\partial}{\partial \vartheta} (N_{\vartheta}' \cdot dr') d\vartheta + \frac{\partial}{\partial r'} (N_{r\vartheta}' r' \cdot d\vartheta) dr' + \\ + N_{\vartheta r}' \cdot dr' \cdot d\vartheta + p_2' r' \cdot d\vartheta \cdot dr' = 0.$$

Ez az egyenlet a (16) alattiak behelyettesítésével továbbá parciális differenciálás és egyszerűsítés után így alakul:

$$\frac{\partial N'_\vartheta}{\partial \vartheta} + r' \frac{\partial N'_{r\vartheta}}{\partial r'} + 2N'_{r\vartheta} + p'_2 r' = 0. \quad (18)$$

### 6.3. Egyensúly függélyes irányban

A függélyes erőalkotók egyensúlyi feltétele:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial r'} \left( N'_r r' \cdot d\vartheta \cdot \frac{dz}{dr'} \right) dr' + \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left( N'_{\vartheta r} \cdot dr' \cdot \frac{dz}{dr'} \right) d\vartheta + \\ + p'_3 r' \cdot d\vartheta \cdot dr'_3 = 0. \end{aligned}$$

Ez az egyenlet a (16) alattiak figyelembevételével és  $d\vartheta \cdot dr'$ -vel való egyszerűsítés után a következő alakra hozható:

$$\frac{1}{2R} \cdot \frac{\partial}{\partial r'} (N'_r r'^2) + \frac{r'}{2R} \cdot \frac{\partial N'_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} + p'_3 r'_3 = 0.$$

Innen differenciálás és  $r'$ -vel való osztás után az

$$\frac{1}{2R} \left( r' \cdot \frac{\partial N'_r}{\partial r'} + 2N'_r + \frac{\partial N'_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} \right) + p'_3 = 0$$

egyenletet kapjuk. Ha végül ebbe behelyettesítjük a (17) alattiakból adódó

$$\frac{\partial N'_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} = -r' \frac{\partial N'_r}{\partial r'} - N'_r + N'_\vartheta - p'_1 r'$$

kifejezést, a keresett egyensúlyi egyenletet ilyen alakban állíthatjuk elő:

$$(N'_r + N'_\vartheta) - p'_1 r' + 2R p'_3 = 0. \quad (19)$$

## 7. A gömbhéjra ható terhek

Az alábbiakban kapcsolatot óhajtunk keresni a gömbhéj és a hozzárendelt paraboloidhéj terhelőerői közt annak feltételezésével, hogy a gömbhéj tényleges feszítőerői a következő kapcsolatban állnak a paraboloidhéj redu-

kált feszítőerőivel:

$$\begin{aligned} N_r &= f(r') \cdot N'_r, \\ N_{r\theta} &= f(r') \cdot N'_{r\theta}, \\ N_\theta &= f(r') \cdot N'_\theta. \end{aligned} \quad (20)$$

A fenti képletekben szereplő  $f(r')$  függvényt egyelőre határozatlannak tekintjük és kikötjük, hogy a (11)—(13) és (17)—(19) egyensúlyi feltételek egyidejűleg teljesüljenek.

Célunk a gömbhéjra ható  $p$  teherrendszer  $p_1, p_2, p_3$  alkotóinak a meghatározása, ha a paraboloidhéjra ható  $p'$  teherrendszer  $p'_1, p'_2, p'_3$  alkotói ismeretesek.

Az idevonatkozó számítást a három teheralkotónak megfelelőleg három lépésben végezzük el.

### 7.1. A $p_2$ teheralkotó

Induljunk ki a (12) differenciálegyenletről és térjünk át abban az  $\omega$  szerinti differenciálásról az  $r'$  szerinti differenciálásra:

$$\frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dr'}{d\omega} \cdot \frac{\partial}{\partial r'} (r N_{r\theta}) + N_{r\theta} \cos \omega + r p_2 = 0.$$

Behelyettesítve a (16), (8) és (9) alattiakat, azt kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r'} \left( \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2} N_{r\theta} \right) + \\ + \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} N_{r\theta} + \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2} p_2 = 0. \end{aligned}$$

Innen parciális differenciálás és egyszerűsítés után a

$$\frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + r' \frac{\partial N_{r\theta}}{\partial r'} + 2 \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} N_{r\theta} + \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2} p_2 = 0$$

egyenlet adódik, ez pedig a (20) alattiak behelyettesítésével így írható:

$$\begin{aligned} f(r') \frac{\partial N'_\theta}{\partial \theta} + r' \frac{\partial}{\partial r'} [f(r') N'_{r\theta}] + \\ + 2 \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} f(r') \cdot N'_{r\theta} + \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2} p_2 = 0. \end{aligned}$$

Ismét parciálisan differenciálva, a következő egyenlet adódik:

$$f(r') \frac{\partial N'_{\theta}}{\partial \theta} + r' \frac{df(r')}{dr'} N'_{r\theta} + r' f(r') \frac{\partial N'_{r\theta}}{\partial r'} + 2 \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} f(r') \cdot N'_{r\theta} + \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2} p_2 = 0. \quad (21)$$

Ámde a (18) egyenlet szerint

$$r' \frac{\partial N'_{r\theta}}{\partial r'} = - \frac{\partial N'_{\theta}}{\partial \theta} - 2N'_{r\theta} - p'_2 r'.$$

Ha ezt az értéket a (21) egyenletbe behelyettesítjük, egyszerűsítés után azt találjuk, hogy

$$\left[ \frac{df(r')}{dr'} - \frac{4r'}{4R^2 + r'^2} f(r') \right] N'_{r\theta} + \left[ \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} p_2 - f(r') p'_2 \right] = 0. \quad (22)$$

Ahhoz, hogy ez az egyenlet bármely véges  $N'_{r\theta}$  érték esetében teljesedjék, az szükséges, hogy a szögletes zárójelbe foglalt kifejezések zérus értékűek legyenek, vagyis

$$\frac{df(r')}{dr'} - \frac{4r'}{4R^2 + r'^2} f(r') = 0, \quad (23)$$

$$\frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} p_2 - f(r') p'_2 = 0 \quad (24)$$

legyen.

A fentiek közül az első kifejezés közönséges lineáris differenciálegyenlet, melynek megoldása

$$f(r') = \frac{(4R^2 + r'^2)^2}{K},$$

ahol  $K$  integrálási állandót jelent. Ha utóbbinak a

$$K = 16R^4$$

értéket tulajdonítjuk, az eddig határozatlan  $f(r')$  függvényre a következő képletet kapjuk:

$$f(r') = \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2. \quad (25)$$

A (25) alatti helyettesítéssel a (24) egyenlet így alakul:

$$\frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} p_2 \cdot \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 p_2' = 0.$$

Végül is a keresett feltétel:

$$p_2 = \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^3 p_2'. \quad (26)$$

### 7.2. A $p_3$ teheralkotó

Helyettesítsük be a (13) differenciálegyenletbe a (20) és (25) alatti összefüggéseket:

$$\frac{1}{R} \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 (N_r' + N_\theta') + p_3 = 0. \quad (27)$$

Ha figyelembe vesszük, hogy a (19) alattiak szerint

$$N_r' + N_\theta' = r' p_1' - 2R p_3' = 0, \quad (28)$$

akkor a (27) egyenletet így írhatjuk:

$$\frac{1}{R} \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 (r' p_1' - 2R p_3') + p_3 = 0.$$

Innen a keresett feltétel:

$$p_3 = \frac{1}{R} \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 (-r' p_1' + 2R p_3'). \quad (29)$$

### 7.3. A $p_1$ teheralkotó

Térjünk át a (11) differenciálegyenletben az  $\omega$  szerinti differenciálásról az  $r'$  szerinti differenciálásra:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dr'}{d\omega} \cdot \frac{\partial}{\partial r'} (r N_r) + \frac{\partial N_{r\theta}}{\partial \theta} - N_\theta \cos \omega + r p_1 = 0.$$



Behelyettesítve az (6), (8) és (9) alattiakat, azt kapjuk, hogy

$$\frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r'} \left( \frac{4R^2 r'}{4R^2 + r'^2} N_r \right) + \frac{\partial N_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} - \\ - \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} N_\vartheta + \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} r' p_1 = 0.$$

Innen parciális differenciálás és egyszerűsítés után a

$$\frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} (N_r - N_\vartheta) + r' \frac{\partial N_r}{\partial r'} + \frac{\partial N_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} + \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} r' p_1 = 0$$

egyenlet adódik, ezt pedig a (20) alattiak figyelembevételével így írhatjuk:

$$\frac{(4R^2 + r'^2)(4R^2 - r'^2)}{16R^4} (N'_r - N'_\vartheta) + \frac{r'}{16R^4} \cdot \frac{\partial}{\partial r'} [(4R^2 + r'^2) N'_r] + \\ + \frac{(4R^2 + r'^2)^2}{16R^4} \cdot \frac{\partial N'_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} + \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} r' p_1 = 0.$$

Ez az egyenlet újabb parciális differenciálás után a

$$+ \frac{(4R^2 + r'^2)(4R^2 - r'^2)}{16R^4} (N'_r - N'_\vartheta) + \frac{4r'^2(4R^2 + r'^2)}{16R^4} N'_r + \\ + \frac{(4R^2 + r'^2)^2}{16R^4} r' \frac{\partial N'_r}{\partial r'} + \frac{(4R^2 + r'^2)^2}{16R^4} \cdot \frac{\partial N'_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} + \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} r' p_1 = 0 \quad (30)$$

alakot ölti.

Ámde a (17) alattiak szerint

$$\frac{\partial N_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} = N'_\vartheta - N'_r - r' \frac{\partial N'_r}{\partial r'} - r' p'_1.$$

Ha ezt az értéket a (30) egyenletbe behelyettesítjük, egyszerűsítés után azt kapjuk, hogy

$$\frac{4R^2 + r'^2}{8R^4} r' (N'_r + N'_\vartheta) - \frac{(4R^2 + r'^2)^2}{16R^4} p'_1 + \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} p_1 = 0.$$

Innét a (28) alattiak folytán a

$$\frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} p_1 - \frac{(4R^2 + r'^2)(4R^2 - r'^2)}{16R^4} p'_1 - \frac{4R^2 + r'^2}{16R^4} \cdot \frac{r'}{4R} p'_3 = 0$$

egyenlet következik, s így a keresett feltétel:

$$p_1 = \frac{(4R^2 + r'^2)^2}{64R^6} [(4R^2 - r'^2)p'_1 + 4Rr'p'_3]. \quad (31)$$

### 8. A paraboloidhéjra ható terhek

Az előzőekben a gömbhéjra ható  $p_1, p_2, p_3$  teheralkotókat annak feltételezésével határoztuk meg, hogy a paraboloidhéjra ható  $p'_1, p'_2, p'_3$  teheralkotók ismeretesek. Az idevonatkozó számítások eredményeként azt találtuk, hogy

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{4R^2} \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 [(4R^2 - r'^2)p'_1 + 4Rr'p'_3], \\ p_2 &= \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^3 p'_2, \\ p_3 &= \frac{1}{R} \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 (-r'p'_1 + 2Rp'_3). \end{aligned} \quad (32)$$

Most a fenti feladat ellentettjeként a gömbhéjra ható  $p_1, p_2, p_3$  teheralkotókat tekintjük adottnak, s a paraboloidhéjra ható  $p'_1, p'_2, p'_3$  teheralkotókat tekintjük ismeretlennek. Evégett a (32) egyenleteket meg kell oldani  $p'_1, p'_2, p'_3$ -ra. A számítás eredménye:

$$\begin{aligned} p'_1 &= \left( \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} \right)^3 \left( p_1 - \frac{r'}{2R} p_3 \right), \\ p'_2 &= \left( \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} \right)^3 p_2, \\ p'_3 &= \left( \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} \right)^3 \left( \frac{r'}{2R} p_1 + \frac{4R^2 - r'^2}{8R^2} p_3 \right). \end{aligned} \quad (33)$$

### 9. Különleges esetek

A (34) illetve (35) képletcsoport birtokában az alábbiakban néhány különleges terhelési esetet mutatunk be. Az ezekre vonatkozó képletek célszerűen felhasználhatók egyes gyakorlati feladatok megoldása során.

### 9.1. A gömbhéjra csak függélyes terhek hatnak

Ha a gömbhéjra csak  $p = p(\vartheta, \omega)$  intenzitású függélyes terhek hatnak, vagyis, ha  $p_1 = p \sin \omega$ ,  $p_2 = 0$ ,  $p_3 = p \cos \omega$ , akkor a (33) képletek szerint

$$p'_1 = \left( \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} \right)^3 \frac{4Rr'}{4R^2 + r'^2} p,$$

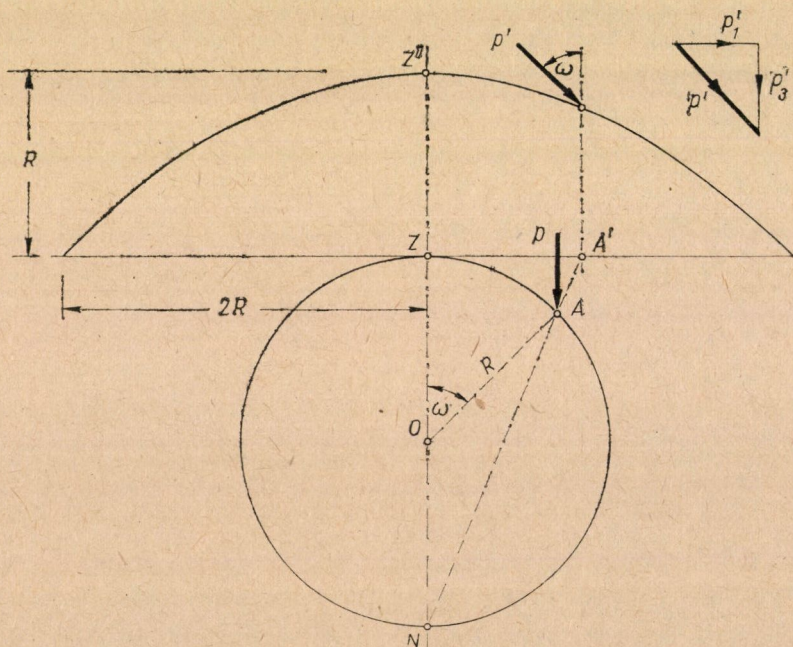
$$p'_2 = 0,$$

$$p'_3 = \left( \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} \right)^3 \frac{4R^2 - r'^2}{4R^2 + r'^2} p. \quad (34)$$

Ebben az esetben az (5) alattiak figyelembevételével

$$\frac{p'_1}{p'_3} = \frac{4Rr'}{4R^2 - r'^2} = \tan \omega. \quad (35)$$

Ezek szerint a szóban forgó esetben a paraboloidhéjra ható  $p' = p'(r', \vartheta)$  teher hatásvonala ugyanakkora szöget zár be a függélyes iránnyal, mint a gömbhéjra ható  $p = p(\vartheta, \omega)$  teher hatásvonala a gömbhéj normálisával (8. ábra).



8. ábra. A gömbhéjat csak függélyes erő terheli



A paraboloidhéjra ható  $p'$  tehernek az alaprajz területegységére vonatkoztatott fajlagos értéke

$$p' = \left( \frac{4R^2}{4R^2 + r'^2} \right)^3 p. \quad (36)$$

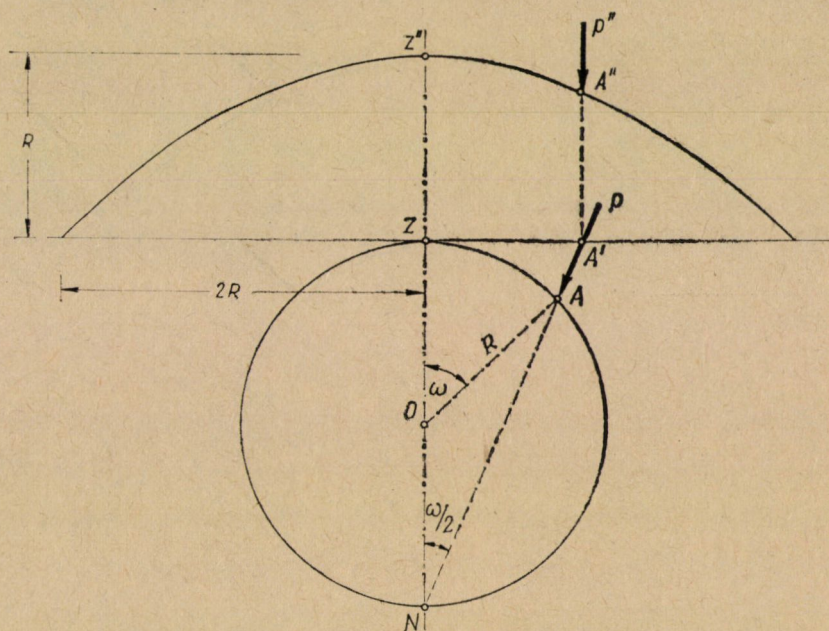
### 9.2. A paraboloidhéjra csak függélyes terhek hatnak

Ha a paraboloidhéjra csak  $p' = p'(r', \vartheta)$  függélyes terhek hatnak, vagyis ha  $p'_1 = p'_2 = 0$ ,  $p'_3 = p'$ , akkor a gömbhéjra ható teheralkotók a (32) képletek szerint

$$\begin{aligned} p_1 &= \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 \frac{r'}{R} p', \\ p_2 &= 0, \\ p_3 &= \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 \cdot 2p'. \end{aligned} \quad 37$$

Ebben az esetben (9. ábra):

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{r'}{2R} = \tan \frac{\omega}{2}, \quad (38)$$



9. ábra. A paraboloidhéjat csak függélyes erő terheli













Ebben az esetben az (5) alattiak figyelembevételével (12. ábra)

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{4R^2 - r'^2}{4Rr'} = -\cot \omega, \quad (47)$$

vagyis a gömbhéjra ható  $p = p(\vartheta, \omega)$  teher hatásvonala vízszintes és a paraboloid tengelyén megy át.

A gömbhéjra ható  $p$  tehernek a gömbhéj középfelületének területére vonatkoztatott fajlagos értéke:

$$p = \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^3 p'. \quad (48)$$

### 10. Megjegyzések

A gömbhéj és paraboloidhéj közt kiépített analógia eredményei és azokból leszűrhető tanulságok a következőképp foglalhatók össze.

1. A gömbhéj középfelülete és a vele kapcsolatba hozott paraboloidhéj középfelületének alaprajzi vetülete *konformis alakzatok*.

2. A *paraboloidhéj* rendszerében egyensúlyban levő  $N'_r$ ,  $N'_{r\vartheta}$ ,  $N'_\vartheta$  *redukált* feszítőerőknek a paraboloidhéj rendszerében a (15) képletek szerint az egyensúlyban levő

$$\begin{aligned} N''_r &= \frac{N'_r}{2R} \sqrt{4R^2 + r'^2}, \\ N''_{r\vartheta} &= N'_{r\vartheta}, \\ N''_\vartheta &= N'_\vartheta \frac{2R}{\sqrt{4R^2 + r'^2}} \end{aligned} \quad (49)$$

*tényleges* feszítőerők, a gömbhéj rendszerében pedig a (20) képlet szerint a szintén egyensúlyban levő

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 N'_r, \\ N_{r\vartheta} &= \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 N'_{r\vartheta}, \\ N_\vartheta &= \left( \frac{4R^2 + r'^2}{4R^2} \right)^2 N'_\vartheta \end{aligned} \quad (50)$$

*tényleges* feszítőerők felelnek meg.

## 3. A (32) alatti kapcsolat folytán

$$N_r : N_{r\theta} : N_\theta = N'_r : N'_{r\theta} : N'_\theta, \quad (51)$$

vagyis a gömbhéj *tényleges* feszítőerői és a paraboloidhéj redukált feszítőerői *konformis rendszert* képeznek.

4. Minthogy a gömbrendszerbeli  $r = \text{konst}$  köröknek a paraboloid rendszerében  $r' = \text{konst}$  körök felelnek meg, a (34) illetve (35) képletekben szereplő teherkomponensek pedig  $\theta$ -tól függetlenek, a gömbhéjra ható forgásszimmetrikus teherrendszernek a paraboloidhéjra ható forgásszimmetrikus teherrendszer felel meg.

5. A 9.1 és 9.4 pontban említett konformis kapcsolat folytán a gömbhéj rendszerében teljesített egyes kerületi feltételek a paraboloidhéj rendszerében is teljesülnek és viszont. Ez a körülmény lehetőséget nyújt egyes kerületiérték-feladatoknak teljes vagy részleges megoldására, ha az analóg rendszerben a megfelelő feladat megoldása ismeretes.

6. Az ismertetett összefüggés egy része az említett alakzatokból affin transzformációval előállítható alakzatok közt is fennáll.

## IRODALOM

1. FLÜGGE, W.: Statik und Dynamik der Schalen. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1957
2. GIRMANN, K.: Flächentragwerke. Einführung in die Elastostatik der Scheiben, Platten, Schalen und Faltwerke. 5. Aufl. Springer-Verlag, Wien 1959
3. TIMOSHENKO, S.—WOINOWSKY-KRIEGER, S.: Theory of Plates and Shells. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York/Toronto/London 1959
4. FLÜGGE, W.: Stresses in Shells. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960
5. CSOKA, P.: Membranschalen. Bauingenieur-Praxis Heft 16. Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin/München 1966

**Analogy Between the Stress States of Spherical Shells and Paraboloidal Shells of Revolution.** Present paper establishes a correlation between spherical shells and paraboloid shells of revolution coordinated to them. The axis of revolution of the paraboloid shell passes through the centre point of the spherical shell. The radius of curvature of the paraboloid shell's meridian at its axis point is the twofold of the radius of the middle surface of the spherical shell. The stereographical projection of the points lying in the middle surface of the spherical shell correspond to those points of the paraboloid shell, the ground-plan projection of which coincides with the stereographically projected points of the spherical shell. The centre of the stereographic projection is the point at which the axis of the paraboloid shell intersects the middle surface of the spherical shell. The relationship existing between the stress and loading state of these two kinds of shells may be expediently used for the solution of certain statical problems.

**Analogie bestehend zwischen dem Kräftespiel von Kugelschalen und den ihnen zugeordneten Rotationsparaboloidschalen.** Der Aufsatz beschreibt eine Beziehung zwischen Kugelschalen und den ihnen zugeordneten Rotationsparaboloidschalen. Die Drehachse der Paraboloidschale läuft durch den Mittelpunkt der Kugelschale. Der Krümmungshalbmesser der Paraboloidschale ist im Achsenpunkt der Mittelfläche doppelt so groß wie der Halbmesser der Kugelschalenmittelfläche. Der stereographischen Projektion der Punkte an der Mittelfläche der Kugelschale entsprechen jene Punkte der Mittelfläche der Paraboloidschale, deren Grundrißprojektion mit der stereographischen Projektion der erwähnten Punkte der Kugelschale übereinstimmt. Der Mittelpunkt der stereographischen Projizierung liegt im Schnittpunkt der Kugelschalenmittelfläche und der Paraboloidachse. Die zwischen den Spannungs- und Belastungszuständen der beiden Schalenarten existierende Beziehung kann bei der Lösung gewisser statischer Probleme nützlich verwertet werden.





# OPTIMÁLIS DÖNTÉS ÉS IRÁNYÍTÁS

JÁNDY GÉZA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA\*

[Beérkezett 1969. december 5-én]

## I. Egy új irányzat kialakulása

A tudományos-technikai forradalom természetes következménye a különböző tudomány- és szakterületek újabb differenciálása és integrálása. Ezt a folyamatot a vezetés igényei gerjesztik. A funkcionálisan és területileg egyre jobban tagozódó vezetési tevékenységeknek integrálása, a szervezet viselkedésének irányítása — mint igény — visszavezethető az első ipari forradalomig. Az ilyen igazgatási feladatok tudományos alátámasztása azonban késett. Indító lökést ehhez egy nagyon rossz emlékű dolog, a II. világháború előszele adott.

A harmincas évek végén az angol légierő jeles szakemberekből létrehozott egy kutatócsoportot azzal a feladattal, hogy az akkor nagy újdonságnak számító radarberendezések felhasználásával dolgozzák ki a légvédelem és a légi harc operatív irányításának hatékony rendszerét. Ennek a csoportnak tehát nem eszközökkel, berendezésekkel vagy szerkezetekkel, és nem is a vezetés technikájával, hanem katonai műveletekkel, operációkkal kellett foglalkoznia. Ezért a csoport tagjai *operációkutató szakosztálynak* nevezték el magukat. Tevékenységi körük gyorsan bővült, és a II. világháború éveiben az angol és amerikai hadseregben az operációkutató csoportok elszaporodtak. A polgári világ a publikációkon keresztül minderről csak egy évtizeddel később szerezhetett tudomást. A leszerelést követően a katonai operációkutató csoportokból sok szakember ment át az iparba, mert ott lehetőséget láttak ennek az új irányzatnak továbbvitelére, továbbfejlesztésére. Az alkalmazások számos ipari és kereskedelmi ághoz gyorsan kezdtek terjedni. Kifejlődésének ezeket a körülményeit tükrözi a következő — ST. BEER-től (1966) származó és az angol operációkutató társaság által elfogadott — egyébként igen találó definíció:

*„Az operációkutatás a tudomány módszereinek alkalmazása a nagy emberi, gépi, anyagi és pénzügyi rendszerek irányításának, vezetésének komplex problémáinál az iparban, kereskedelembe, közigazgatásban és a honvédelemben. Jellegzetes közelítésmódja a rendszer tudományos modelljének megalkotása olyan tényezők*

\* Prof. Dr. Jándy Géza Budapest XI. Schönherz Zoltán u. 27.

mérése útján, mint a véletlen és a kockázat, amelyekkel az alternatív döntések, stratégiák és irányítások eredményei előre számbavehetők és összehasonlíthatók. Célja, hogy segítsen a vezetésnek politikáját és cselekvéseit tudományosan meghatározni."

Egy hasonló, de tömörebb megfogalmazás szerint az operációkutatás a *szervezett (ember—gép) rendszerek* irányításának, illetve a teljes szervezet céljait legjobban szolgáló megoldások kialakításának érdekében *tudományos módszerek* alkalmazása *interdiszciplináris „team”*-ekben (ACKOFF—SASIENI, 1968).

A *tudomány* rendezett ismeretanyag a világról. Miként a benzolok struktúráját, az atommagot vagy a csillagokat vizsgálja, ugyanúgy vizsgálhatja a *vezetés és irányítás* természetét is, és korunk tudományos technikai forradalma hatalmas teljesítőképességű, nagy sebességgel működő, de ennek megfelelően óriási értékeket képviselő gépeivel, berendezéseivel és szervezeteivel ezt mindjobban meg is követeli.

Az élő szervezetek — a sejtek szintjénél kezdődően — szüntelenül irányítanak. Ezt teszi az ember is, akár fizikai, akár szellemi munkát végez. Ha meggondoljuk, hogy a fizikai munkát végző ember átlagos teljesítménye 30—50 watt, és ezt a jelenlegi energiafogyasztási díjakra átszámítva, például egy földmunkás izomenergiájának értéke még 1 százalékát sem éri el munkabérének, akkor az irányítási folyamatok fontossága rögtön világossá válik. A munkatermelékenység növelésének tartalékai nagyrészt olyan mértékben hasznosíthatók, amennyire a különféle emberi kollektívák irányításának módszereit sikerül tökéletesítenünk.

Az irányítás fejlődésében az első szakaszt az egyes paraméterek (mint pl. hőmérséklet vagy légnyomás) ellenőrzése jelentette, ezt követte az egyedi aggregátumok automatikus szabályozása, majd a bonyolult, több aggregátumos műszaki komplexumok (mint pl. a hajók és repülőgépek) irányítása (TRAPEZNYIKOV, 1969). Ma pedig már mind nagyobb mértékben kezdenek foglalkozni a szervezett rendszerek irányításának problémáival.

A nagy rendszerek (pl. műhelyek, üzemek, áruházak, kórházak, energia-rendszerek, építkezések, szolgáltató szervezetek, iparágak) irányítása kétségtelenül bizonyos mértékig művészet, de az is kétségtelen, hogy az intuíció és egyéni rátermettség ehhez mégsem elegendő.

Miközben a vezetési döntés és irányítás tanulmányozásának szükségessége egyre nyilvánvalóbbá vált, az igen általánosnak tűnő „tudományos módszerek” keretében a *döntésméleti* módszerek jelentős fegyvertára kezdett kialakulni. Kezdetben az operációkutatási tevékenységnek képzett szakemberei nyilvánvalóan nem is lehettek. A vezetés feladata a nagy és bonyolult rendszerek irányítása, de ki ért az ilyen rendszerekhez? Tény, hogy a tudomány minden ága valamely vezetési szituációba jelentős bepillantást adhat. A tudomány művelői képzettségük alapján képesek arra, hogy egy

nagy és bonyolult rendszer szerkezetét és irányítását megértsek. Így az *operációkutatási csoportot* (team-et) különböző diszciplínákban (mint a termodinamikában, genetikában, idegpszichológiában stb.) képzett kutatókból hozták össze, akik különböző irányú tudásukat képesek voltak a vállalat megismerésében együttesen hasznosítani.

Annak felismerése után, hogy a döntések előkészítésében a matematikának és a matematikai statisztikának nagy szerepe lehet, fokozatosan lényeges eltolódás következett be. A valószínűségi elmélet már a 30-as évek elején lehetővé tette, hogy a telefonhívások torlódásának természetét a telefonközpontok berendezéseinek tervezésével kapcsolatban tanulmányozhassuk. Az így kialakult eljárás segítségével azután később a legkülönbözőbb *várakozó sorok* természetét kezdték vizsgálni. KANTOROVICS — megoldó együtthatók módszere néven — már 1939-ben publikált olyan matematikai eljárást, amelylyel a termelés és elosztás tervezésénél jelentkező (és a lineáris programozás modelljében megfogalmazható) különféle feladatok optimális megoldása meghatározható. DANTZIG a *lineáris programozási* feladatokra általánosan használható *szimplex módszerét* 1949-ben ismertette.

Az operációkutatás tudományos társadalmi szervezetei és szaklapjai az 50-es évek első felében kezdtek megjelenni, és ma már a különböző alapképzettséggel rendelkező hallgatók egyetemi operációkutatási szakképzésében olyan önálló tantárgyak találhatók, mint pl. a *lineáris programozás*, a *nem lineáris programozás*, az *egész értékű* (integer) *programozás*, a *játékelmélet*, a *dinamikus programozás* és a *folyamatirányítási elmélet*, a *gráfelmélet és hálózati áramlások*, a *szervezési hálózatok elemzése*, a *sztochasztikus folyamatok elmélete*, a *tömegkiszolgálási elmélet*, a *készletgazdálkodás*, a *sorrend-programozás*, a *számítógépi szimuláció*, a *heurisztikus módszerek* stb.

Így azután az egyik pólussal szemben, amely az operációkutatást csupán tevékenységnek, tudományos magatartásnak tekinti, kialakult a másik pólus, amely az előbbi (döntéselméleti) módszereket azonosítja az operációkutatással. Az egyik póluson operációkutatóról szigorúan véve nem is lehet beszélni, hanem csupán az interdiszciplináris operációkutatási team tagjáról, aki valamely tudományágnak a művelője. Ennek a véleménynek egyik fő reprezentánsa ST. BEER. A másik póluson pedig operációkutatási oklevelet és doktortust adnak. Kinek van itt igaza?

Ami 30 évvel ezelőtt az angol hadseregben egy különleges és teljesen új probléma esetében ésszerű dolog volt, elképzelhető-e ma például egy nagy építőipari vállalatnál? Nevezetesen egy ilyen vállalat vezérigazgatója a termelés mechanizmusának tanulmányozását, irányítási rendszerének kialakítását vajon kire bízza? Ilyen célból mindenképp előtt olyan valakire van szüksége, aki a *vállalat struktúráját és mechanizmusát* hamar fel tudja ismerni, az irányításhoz szükséges *információs rendszert* meg tudja szervezni, meg tudja határozni a *különböző megoldások értékelésének* rendszerét, ki tudja alakítani

a termelésirányítás *fogalmi modelljét* és ezt át tudja transzformálni egy *döntésméleti modellbe* vagy egy matematikust ezzel meg tud bízni, majd egy számítógép bekapcsolásával meg tudja szervezni az *információfeldolgozás és termelésirányítás dinamikus és adaptív rendszerét*.

Mindezt most is csak egy csoport tudja megvalósítani, amelyben a mérnökön kívül adatfeldolgozási rendszerszervezőnek, matematikusnak, közgazdásznak és számítógépi programozónak kell lenni, de mégis ez a csoport sokkal homogénabbnak fog tűnni a 20–25 évvel ezelőtti interdiszciplináris teameknél, mert akkor még az is rejtély volt, hogy egy ilyen új feladathoz, hogy is kellene hozzákezdeni. Az operációkutatás 30 éves története és közben néhány idekapcsolódó új szakma kialakulása után már jobban értjük, hogy miről is van szó. Kétségtelen, hogy amikor az operációkutatással egy újabb rendszertípus területére kívánunk betörni, ma is hasznos lehet a fogalmi modell kialakításához a szakembereket szélesebb körből, *idegen tudományágakból* is bevonni, a szürke hétköznapiakat azonban nem ez fogja jellemezni.

A mérnökök szívesen hasonlítják az operációkutatást a *műszaki mechanikához*, mert az elmélet és a gyakorlat közötti szerepe és helyzete — más tartalmi körülmények között ugyan — mindkettőnek nagyon hasonló. Bizonyára a műszaki mechanikáról is elmondható, hogy különösen kifejlődésének kezdeti szakaszában problémáit „interdiszciplináris team”-ekben igyekeztek megoldani. A lényeges különbség a két terület között *vizsgálódásuk tárgyában* van.

## II. Cél és módszer

Az operációkutatás vizsgálódásának tárgya *meghatározott célú* különböző (ember—gép) *rendszerek mechanizmusa*. Egy vállalat négy sajátos „erőforrás” (emberek, gépek, anyag és pénz) *összefonódásából* képezett, *integrált, komplex* rendszer. Egy jól megszervezett, munkaerővel és felszerelésekkel jól ellátott, korszerű kommunikációs rendszerrel rendelkező vállalat hatékony irányítás<sup>1</sup> nélkül erőforrásait nem lesz képes hatékonyan felhasználni és minden kíváló adottsága ellenére is rosszul fog működni. Az irányítás fogalma természetesen magában foglalja, hogy a szervezet egy kívánt cél elérésére törekszik, ami vezetőinek hatékony döntései révén lesz realizálható.

Minden szervezet esetében meg kell különböztetni a külső célt a belső céltól. A külső cél megadja a szervezet feladatát és megszabja cselekvésének korlátait. A belső célt azok között a határok között kell meghatározni, amelyekben belül a szervezetnek cselekvési szabadsága van. Lehetséges, hogy a szervezet felettes irányítója a külső céllal együtt a belső célt is megadja, de lehet,

<sup>1</sup>TRAPEZNYIKOV szerint a hatékony irányítás képlete: a vezetők *tudják*, hogy mit és hogyan; a rendszer *képes rá*; a kollektíva tagjai *akarják* azt és *időben megvalósítják*.



hogy őt csak a külső cél teljesítése érdekli és ezen belül a belső célt a szervezet maga tűzheti ki saját maga elé.

A vezető rendszere érdekében, illetve védelmében *döntést* hozhat, elfogadhat egy *stratégiát* vagy *taktikát* mint egy összefüggő döntéshozatali tervet, vagy bevezethet egy *irányítási rendszert*,<sup>2</sup> amely rutinszerűen megvalósítja a stratégiát és döntést termel. Ezek alkalmazása előtt azonban megkísérli elképzelni a dolog kimenetelét. Az akciók lehetséges alternatívái közül éppen a *megjósolt* eredmények összehasonlítása alapján választ.

Az *integrált rendszerek irányításának* problémái azonban hamar túlnőnek a legnagyobb koponyán is, és akkor már nincs más lehetőség, mint a szubjektív döntés. Hogy a döntést bonyolult esetekben is objektíven lehessen mérlegelni; hogy a döntés várható hatását valamennyire is tudományosan lehessen előre látni, hogy a vállalat célját szétágazó és szövevényes feladatai teljesítésével el tudja érni, ehhez bizony a vezető képességein, tapasztalatain és rátermettségén kívül egyéb segítségekre is szükség lenne. Az operációkutatásnak éppen ez a *segítségadás* a célja. Amíg a vezető figyelmét elsősorban saját *stratégiájának*, *taktikájának tartalma* köti le, az operációkutató annak *formáját* igyekszik tanulmányozni, a viselkedés mögött a *sablont* kutatja, az *összefüggések és preferenciák* felismerésével megkísérli azt megformázni, *modellezni*.

Az operációkutatás, bár számos új numerikus és egyéb módszert felhasznál, vizsgálódásának *általános módszerei* — a logikai analízis és szintézis, a tényezők azonosítása és mérése, hipotézisek felállítása és vizsgálata, kísérlet, verifikáció stb. — nem újak. De lényegesen új a *nézőpont*, amelyből a dolgokat vizsgálja.

Miután az operációkutatás feltárja a jelenségek lényegét, mozgási és fejlődési törvényeit, vagyis leírja a *rendszer tulajdonságait*, megkísérli azt egy *modellben reprodukálni*. Ez a modell a rendszer formális reprezentánsa. Olyan, mintha szűrőn át látnánk a rendszert. Megfelelően transzformálva megtalálható benne a rendszer valamennyi fő tulajdonsága, így a megmérhetetlenek is. Az operációkutatási modell általában egy dinamikus, önmagát javító irányítási rendszernek része, amin megfigyeléseink alapján bizonyára többször kell majd igazítanunk.

Az operációkutatóban (vagy a kutatócsoportban) a vezetési szituáció felismerése után egy *fogalmi modell* alakul ki, amiből *homomorf leképezés* („több-egy” megfeleltetés) útján megalkotja *szabatos gondolati modelljét*. Ezt már úgy teszi (a teljes gondolati képet olyan mértékben „kicsinyíti”), hogy szabatos modelljét közvetlenül, tehát *izomorf* módon („egy-egy” megfeleltetés) át tudja fordítani a *matematika*, a *statisztika* vagy a *logika* magas

<sup>2</sup> Az operációkutatás sikere szempontjából alapvető fontosságú az *irányítási* (vezetési) *rendszer feltárása elemzése*, vagy ilyen rendszer *szervezése*. Az irányítási rendszer szabja meg, hogy *hogyan*, *kik* és *mikor* hozzák a *döntéseket* és végzik az irányítást, illetve, hogy a működési folyamatban *kinek*, *mikor*, *milyen beavatkozására* van szükség.

fokon kifejlesztett, szigorúan *tudományos nyelvére*. A tudomány eszközei szabják tehát meg, hogy ezt a szabatos gondolati modellt milyen részletezettséggel, milyen hűséggel lehet megalkotni. Ezzel a fogalmi modell elkerülhetetlenül veszíteni fog tartalmi gazdagságából, de a homomorf vetítés árán az új modell pontos és egyértelmű. Kétségtelen, hogy ez nem egzakt, hanem inkább heurisztikus eljárás a rendszer struktúrájának, viselkedésének feltárására, de általában a képzeti modellt lehetetlenség az egzakt megfogalmazás szintjére izomorf úton vetíteni és a *kép komplexitását* az nagyon hátrányosan befolyásolná. Mint LENIN mondta: „*Minden tudományos absztrakció mélyebben, hívebben, teljesebben tükrözi vissza a természetet*”.

A fogalmi modell megalkotása itt döntő jelentőségű. A fogalomnak mint gondolkodási formának a jelenségek lényegét kell visszatükröznie. Ha a *vezetési szituációt* nem tudjuk egyértelműen saját anyanyelvünkre vetíteni, ha a *lényeg*et a lényegtelenről nem tudjuk széjjelválasztani, akkor a további leképezés a képet még jobban eltorzítja. A vetítés folyamata sokszor maga is felfedi az alapmodell ellentmondásait, hiányosságait. Erre a beszélt nyelvek közötti tolmácsolás és fordítás is gyakran ad példát.

Mind a fogalmi, mind a tudományos modell mindig magán viseli saját korlátaink, korlátozottságunk bélyegeit. A tudat társadalmi termék és a tudomány fejlődése, ismereteink bővülése eredményeképpen modelljeink időnként megérnek arra, hogy elhajítsuk őket és újat állítsunk helyükre.

A tudományos modellnek a *jövőbe* kell mutatnia, lehetőséget kell adnia *kísérletek* elvégzésére, *hipotézisek* és lehetséges megoldások *ellenőrzésére* és alkalmasnak kell lennie *információk* gerjesztésére. A modell általános operációkutatási tapasztalatot is ad, mert állandóan változó világunkban a döntések tökéletesen nem ismételhethők meg, de a *döntéshozás* módja igen.

Sokszor kifogásolják, hogy az operációkutatás szakirodalma tele van mesterkélt, leegyszerűsített szituációkkal, amelyeken az egyre kifinomultabb módszereket bemutatják, alig hihető azonban, hogy ez baj lenne. Hiszen ha nem ismerjük a formális nyelvek, illetve a tudományos eszközök lehetőségeit, hogyan tudnánk akkor a tudományos modellt megalkotni. A képzeletbeli szituációk modellezése jó alapot teremthet ahhoz, hogy a vezető (felhasználó, megbízó) és az operációkutató között meginduljon az a *párbeszéd*, amely nélkül a hatékony operációkutatás teljesen elképzelhetetlen. A baj ott kezdődik, amikor valaki egy módszerre ráhúsz egy képzeletbeli problémát és később erről a jó iskolapéldáról azt hiszi, hogy a valóságos probléma modellje áll előtte, pedig a valóságos problémát még meg sem fogalmazta. Éppen ezért nagyon helytelen, ha valamely *konkrét szituációt* azzal kezdenek megközelíteni, hogy egy matematikai módszerből indulnak ki. Az operációkutatás nem kezdődhet azzal, hogy a problémát matematikai modellbe öntjük. Előbb fel kell azt tárni és *verbálisan egyértelműen* meg kell fogalmazni. Csak ezután következhet a megoldás módszere. Itt is igaz, amire MIHAILICH professzor mérnök-

hallgatóit oly gyakran figyelmeztette: „*A gondolat az első*”. A lineáris programozás gyakran alkalmazott módszere például értéktelen addig, amíg a vizsgált környezet és probléma homomorf leképezését nem találjuk meg. Viszont egy *közelítőleg korrekt* válasz *jobb* a rossz válasznál és az operációkutató, ha a vezetést valóban segíteni akarja, igen gyakran kénytelen logikailag átgondolt, heurisztikus módszerekhez folyamodni.

### III. Az eszközök

Az operációkutatás — amint arról már szó volt — *három formális nyelvet* használ:

- a *menyiség* formális nyelveként a matematikát,
- a *valószínűség* formális nyelveként a statisztikát és
- a *minőség* formális nyelveként a logikát.

A logika segítségével kell megvizsgálnunk az olyan kérdéseket, mint pl. azt, hogy mikor tekinthetünk egy állítást koherensnek; mit tartalmaz az és mit von maga után; vajon az ilyen állításokból összeállított érv vagy bizonyítás igaz-e és alá tudja-e támasztani következtetésünket stb. Amíg az állításoknak és érveknek helyénvalóságát fel nem ismerjük, teljesen abszurd azok *kvantifikálásáról* beszélni.

A *valószínűségi elmélet* koncepciójára a vezetési szituáció modellezésénél különösen nagy szükségünk van. Ez igaz akkor is, ha a problémát *determinisztikus* modellben igyekszünk megoldani. Az eshetőséget, bizonytalanságot a vezetőnek számításba kell vennie. Ezért már közhelynek is tűnik arról beszélni, hogy a tervnek *rugalmasnak* kell lennie és ehhez a *döntéseket* szakaszosan, *egymásra következően* kell meghozni, illetve módosítani. Tudatában kell lennünk annak, hogy a *véletlen* minden tervnek lényeges velejárója.

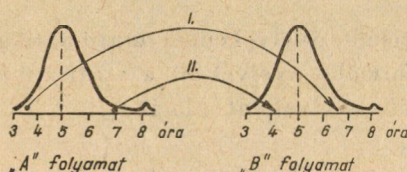
Nézzünk példaképpen egy nagyon egyszerű esetet. Két termelő gép (*A* és *B*) áll közvetlenül egymás mellett. Az *A*-tól kapott félterméket a *B* munkálja tovább befejezett terméké. Mindkét gép fajlagos időráfordítása átlagosan 5 óra. Naivan azt mondhatnánk, hogy ez egy teljesen kiegyensúlyozott helyzet, ahol nincs üresjárat és nincs szükség tartalékra. A valóság azonban nem ez. Az egyedi megmunkálási idő az 5 órás *átlag* körül fog *eloszlani*. A valószínűségi eloszlás ilyen esetben nem szimmetrikus, hanem jobbra nyújtottabb (1. ábra). A vezetést a két folyamat közötti *kölcsönhatás* érdekli. Ezzel az eseményeknek lényeges szereplőjévé válik az *idő*. Ha az *A* gép hamarabb végez egy munkadarabbal, mint a *B*, megkezdődik a *sorbanállás*. Ha a *B* fejez be egy munkadarabot hamarabb, akkor *üresjáratban* fog várakozni. A következő esemény növelheti a sort a két gép között, vagy hirtelen veszteség-



időt okozhat  $B$ -nél. A matematikai statisztika segítségével kimutatható, ha a sorbanállás egyszer megkezdődik, annak reménye (valószínűsége), hogy a  $B$  utoléri magát, állandóan csökken.

A sorbanállási elmélet a valószínű kínálat és a valószínű kereslet közötti sor alakulását magyarázza. Az üresjáratot pedig úgy tekinthetjük mint negatív sort. Van amikor a sorképződést akarjuk elkerülni, van mikor az üresjáratot. Az előbbi példában az üzemvezető nyilván azt fogja kérdezni, hogy elfogadható kockázat mellett mekkora legyen a két gép között a depónia (vagyis várakozó sor), hogy a  $B$  gép üresjárását elkerüljük.

Két valószínűségi szituációt kapcsoltunk itt össze oly módon, hogy egymásra hatásuk a valószínűségi elmélet eszközeivel mérhető legyen. Ezt



1. ábra

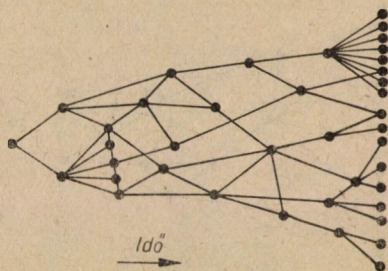
nevezi BEER a tervezett bizonytalanság építőkockájának. Ha az  $A$  és a  $B$  gép között szállítás is van, amelynek ideje természetesen szintén csak középértékével adható meg, akkor már a szállítási útvonal mindkét végén szükséges depónia. Az ilyen feladatokat szimulációs technikával célszerű megoldani. Jól rámutat ez a példa arra is, hogy a gazdasági rendszerek irányításában a *tartalékoknak* milyen nagy szerepük van. A tartalékok hiánya általában fékezi a termelést. Ezért a rendszerre ható *zavarok* figyelembevételével mindig célszerű a termelőkapacitások *optimális tartalékát* megtervezni.

Sorbanállási jelenséggel találkozunk az autóbusz- vagy villamosmegállókban, a nagy forgalmú útkereszteződésekben, a benzinkutaknál, rakodógépeknél, különböző pénztáraknál, de sorbanállási probléma az is, hogy vajon a vállalat fizetőképes lesz-e elsején vagy rendelkezni fog-e egy beruházáshoz elegendő felhasználható alappal. Utóbbi esetekben a pénz gyülekezik a sorban. Az *optimális készletek* meghatározása, az *optimális rendelési politika* ugyancsak ehhez a témakörhöz tartozik.

Az operációkutatásnak egy igen sikeres modellező eszköze a *hálózat*, más néven *hálótéchnika*. Ha egy bonyolult tevékenységet építőkockáiból felépítve kívánunk ábrázolni, az szükségszerűen hálózatnak fog tűnni. Ennek *kapcsolatai* a formális *logika*, a hálózati tevékenységet befolyásoló feltételek *összefüggései* a *matematika* kifejezéseivel írhatók le, e — lényegében *sztochasztikus* — rendszernek *kvantifikálásához* pedig a *matematikai statisztika* nyújt



segítségét. Egy *sztochasztikus folyamat* vizsgálható *matematikai* úton, de kísérletezhetünk vele *szimulációval* vagy a gyakorlatban a visszacsatolási technika révén beavatkozásainkkal *irányításnak* vethetjük alá. Mit csinál a vezető, ha nem biztos abban, hogy az irányítandó szituáció fogalmi modelljét meg tudja találni, mivel annak részletes összefüggéseit és a siker kritériumát nem ismeri? Tapasztalatai alapján óvatosan változtatja a rendszer paramétereit, figyeli az eredményt és igyekszik a sikert minél teljesebbé tenni. Ez a megközelítés egy teljes értékű irányítási mechanizmus. Éppen ebből a felismerésből alakult ki a *matematikailag tervezett kísérletezésen* alapuló *sorozatos döntési folyamat* (ennek elemei az ún. fejlődő operációk).



2. ábra

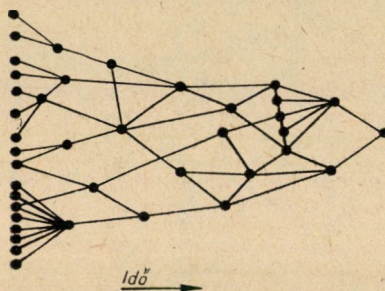
Visszatérve a hálótechnikához, egy irányított hálózat lehet *széjjeltartó* (divergens) vagy *összetartó* (konvergens). A divergens sztochasztikus hálózat (2. ábra) termelési folyamatot, egy nagy cég elosztási rendszerét, szállítási rendszert, tartalékkalkatrészek áramlását a szervizek felé, de hírközlést, járvány terjedését és sok egyebet is ábrázolhat. A különböző rendszerek közötti azonoság felismerése az operációkutatóknak is egyik fő képessége kell legyen. A konvergens hálózat összekapcsolódó műveleteket, tevékenységeket reprezentál (3. ábra), mint amilyen például egy építkezés, nagy beruházás vagy sok összetevőjű kutatás.

Igen érdekes jelenség a *keresletnek* és a *kínálatnak* találkozása egy izomorf egybevágó hálózaton. Gondoljunk például egy divergens hálózatra, amelyen a javak áramlása nyomon követhető, de a javak mozgása információkat gerjeszt, hiszen az egyensúly változását minden tárolási ponton figyelik. A keresleti információk a javak vákuumját reprezentálják és a javakkal éppen ellentétes irányban terjednek. Az *információnak* mindig az a feladata, hogy valamilyen *határozatlanságot* *oszlasson el*, és így, termodinamikai analógiával mennyisége mérhető is. Ezen a ponton az operációkutatás az *információelmélettel* találkozik, aminek segítségével például egy irányítási rendszer automatizálásához szükséges számítógép-kapacitást határozhatjuk meg.

Egy nagy *építkezés irányítása* konvergens hálózaton gerjesztett *sztochasztikus folyamatként* fogható fel és amint az idő előrehaladásával az egyes csomó-



pontok által reprezentált „cél táblákat” (eseményeket) elhibázzuk, az eredeti hálózat egyre pontatlanabb. Sokszor alárendelt tevékenységek késedelme miatt nem lehet betartani a szerződéses *határidőt*. Ezt elkerülendő fel kell tüntetni a tervben, hogy a sztochasztikusan megvalósuló események közötti kapcsolatok (tevékenységek) közül a végső cél sikere szempontjából melyek a valóban *kritikusok*. Ebből a gondolatból az eljárások egész gyűjteménye alakult ki, amelyek lényegében a *kritikus út* meghatározásának módjában különböznek egymástól. Nyilvánvalóan más a kritikus út, ha a munkát a lehetséges *legrövidebb idő* alatt akarjuk befejezni és más, ha a lehetséges *legkisebb költséggel* akarjuk elvégezni azt. A kritikus út ismerete segít annak eldöntésében, hogy



3. ábra

*erőforrásainkkal* hogyan gazdálkodjunk. Természetesen, ha a terv végrehajtása közben valahol késedelem következik be, onnan kezdve a kritikus út már megváltozhat és ugyanaz fennállhat a fordított esetben is. A szűk keresztmetszetnek ilyen eltolódásai miatt az építés folyamán a kritikus utat ismételten, újra és újra meg kell határozni. Gondolnunk kell itt arra is, hogy egy tevékenység elhúzódása a végső határidő lényegesen nagyobb eltolódását is okozhatja.

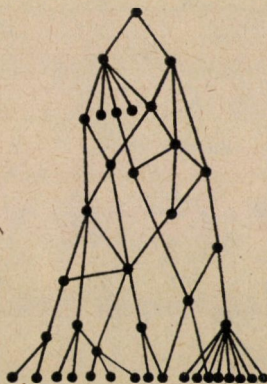
Ha a hálózatot csúcsával felfelé fordítjuk (4. ábra), egy *hierarchikus szerkezetet* kapunk, ami azonban a családfától lényegesen eltér. *Először* is az egyéneket reprezentáló csomópontok az egyenlő fontosságok rendjét korántsem tükrözik olyan egyértelműen. A szervezeti hierarchiában az azonos rangú beosztások (és személyek) fontossága, „súlya” eltérhet egymástól. *Másodszor* a diagram szétszórt felelősségre és felsőbbbségre utal. Az operációkutató vizsgálat egy ilyen *hierarchikus hálózaton* a ténylegesen létező viszonyokat akarja leírni. *Harmadszor* ez a diagram nemcsak az alárendeltségi láncot ábrázolja, hanem az *információ*<sup>3</sup> (és a döntés) *áramlásait* is. Következésképpen ez szintén szto-

<sup>3</sup> Az operációkutatásban oly nagy szerepet játszó és már itt is többször emlegett információ azokat az adatokat, közléseket stb. értjük, amelyek az elérendő célra (egy döntés előkészítésére, megalapozására vagy általában egy felvetett probléma megoldására) vonatkozó tájékozottságunkat bővítik. A vállalati szervezeten belül a folyamatos, zökkenőmentes működést egyrészt éppen a vállalati *információrendszer* biztosítja, amely azt szabályozza, hogy kinek, mikor, miről, milyen formában kell információt kapnia.



chasztikus kölcsönhatások dinamikus ábrája. Az irányítási (vezetési) *rendszerek elemzéséhez*, illetve *szervezéséhez* egy ilyen hálózat hatékony segítséget nyújthat. (A fenti ábrákat St. BEER hivatkozott könyvéből vettük át.)

Nagyon érdekes itt annak vizsgálata, hogy a hálózaton keresztül kapott különböző információk alapján a vezető mekkora valószínűséggel hozhat helyes döntést és milyen lehetőség van a hiba felismerésére és helyrehozására. Az analógiát az *idegrendszerünkben* találjuk meg. A neuronok működésének és az idegimpulzusok természetének vizsgálata az *információs rendszerek* egy igen alapvető problémáját világította meg. Hogyan tudunk megbízhatatlan (mondjuk 70%-os pontosságú) összetevőkkel megbízható információfeldolgo-



4. ábra

zást végezni. Hiszen ha egy neuronba a 70 %-os megbízhatósággal felfogott idegimpulzusok két csatornán érkeznek és a korrekt döntéshozatal valószínűsége 0,995, akkor a neuron válasza már nagyobb valószínűséggel hibás (0,51245), mint helyes. Erre a különös ellentmondásra a választ NEUMANN JÁNOS adta meg. Annak valószínűsége, hogy a hálózaton az üzeneteket helyesen fogjuk fel, a *redundancia* növelésével nagyon gyorsan emelkedik. Csomópontjait és csatornáit egy bonyolult logika szerint megsokszorozva, az agy legyőzi mind az izgatószereteknek (zavaroknak) a neuronok küszöbértékét megváltoztató hatását, mind vészületett saját megbízhatatlanságát is. A redundáns információs hálózaton a megbízhatóság ugyanígy rohamosan emelkedik.

Az operációkutatási modell használata mindig a jövővel van összefüggésben, így az *előrelátás* természetének tárgyalása beletartozik a modellezés általános elméletébe. A tudományos előrelátásról akkor beszélhetünk, ha az agymást követő képek egészében megfelelnek a bázis-képnek; a bizonytalanság csak a kép részleteire vonatkozik; az egyes esetek számbavételével eljuthatunk ez általánosra vonatkozó következtetéshez; vagy a tudomány a vizsgált jelenség mechanizmusát már felismerte, így a többszörös ismétlődés elvére nincs szükségünk. Szerepe van a *prognosztizálásban* a *korrelációk* felismerésének

és a *játékelméletnek* is. A vezetési szituációk heurisztikus előrejelzésének egy hasznos eszköze a *szimuláció*, ami nem csupán *Monte Carlo*-módszerre szorítkozik, hanem sokkal inkább lehet egy játékszerű *kísérletezés*, amellyel (mint a gyermek) tapasztalatainkat akarjuk bővíteni.

Az *előrelátó modellhez* három dolog szükséges: a vizsgált struktúra és mechanizmus korrekt (tehát homomorf) azonosítása, a sztochasztikus kvantifikálás és a statisztikus kölcsönhatások ismerete. Az ilyen modellben meghatározott döntés olyan mértékben hatékony, amennyiben a rendszer jövőbeli állapotát az előre elfogadott „siker-kritériumnak” megfelelően képes módosítani. A legjobb döntés meghatározásának folyamatát *optimálásnak* és azoknak az elméleti ismereteknek gyűjteményét, amelyek kihatnak erre a folyamatra, *döntésselméletnek* nevezzük.

A döntésselméletet BEER három csoportra osztja: *geometriai*, *statisztikai* és *algebrai* megközelítésekre. Az első csoportba tartoznak a *fizikai* (földrajzi) vagy a *logikai térben rögzíthető döntéseknek rendezett sorozatával* foglalkozó módszerek. A *második csoport a sztochasztikus folyamatokkal* foglalkozik. A sorozatos döntés itt nem a tevékenységek irányának, útvonalának kijelölésére, hanem a valószínűségi elmélet törvényeinek engedelmeskedő események sorozatára vonatkozik. Ha egy időpontban a rendszer bizonyos állapotának valószínűségét az előző pillanat állapota meghatározza, akkor a dinamikus rendszerben véghemenő sztochasztikus folyamat a valószínűségi elmélet *Markov folyamatával* hozható analógiába. Az *algebrai megközelítés csoportjába* a *matematikai* és a *dinamikus programozás* tartozik. Itt tehát a gyakorlatban legjobban elterjedt *determinisztikus modellekről* van szó. A sztochasztikus és dinamikus szemlélet az operációkutatásban alapvető jelentőségű, de ez nem jelenti azt, hogy számos problémánkra determinisztikus és statikus modellben ne kaphatnánk megfelelő feleletet. Ez az absztrakciónak, illetve a homomorf vetítésnek a problémája. Az operációkutatónak ismernie kell modelljének korlátait és a kapott megoldást a fogalmi modellbe visszavetítve értékelnie kell.

Mint minden csoportosítás, ez is kissé önkényes, a határok nagyon is elmosódtak. Jó példa erre az *optimális folyamatok elmélete*, amely legalábbis az első két csoportnak, vagy a *hálózati áramlások elmélete*, amely mindhárom csoportnak lényeges jeleit magán viseli.

Az irányítás folyamata alatt a fogalmi és a döntésselméleti modell folyamatos kölcsönhatásban maradnak. Ez a kétoldalú megközelítés, amely oly jellegzetes mérnöki gyakorlat, az operációkutatás egyik legjelentősebb ismérve. S ha már belekeveredtünk a mechanikai analógiába, azt mondhatjuk, hogy az operációkutatás a vezetési döntések „mechanikája”. A *kibernetika* fogalomkörének jelentősége az operációkutatásban eléggé alig hangsúlyozható. Ez az eddig elmondottakból is jól kiérezhető. Az operációkutatásnak kiberetikai irányzatát *irányítástechnikának* is szoktuk nevezni.

A kibernetika szemléletében például az építőipari vállalat ok és okozati hatások láncolatával összekapcsolt elemek sokaságából összeállított szervezet, vagyis összekapcsolódó tevékenységekből álló rendszer, amelynek működését *meghatározott cél elérése érdekében* befolyásolni, egyszóval *irányítani* a vezetés feladata. Ahhoz, hogy e rendszer működésébe beavatkozhasunk, belső és külső kapcsolatait, a rendszerre ható és a rendszer elemei közötti folyamatokat fel kell tárnunk. Egészen sematikusán, az építőipari vállalatra hat az építetők piaca, amely attól teljesítményt, pontosabban építményt igényel és hat az erőforrások piaca, amelyről a vállalat elő tudja teremteni a termelő tevékenységéhez szükséges munkaerőt, anyagot, munkaeszközt (gépeket, szerszámokat, szállítóeszközöket stb.) és hitelt. A rendszer bemenete tehát az igény és az erőforrás, kimenete az építmény. Így a vállalatot „viszonylag izolált rendszernek” tekinthetjük. Mind a bemeneteket, mind a kimenetet sokkomponensű vektorként kell felfognunk. A *kimeneti állapot előírt értéke*, normája általában — hosszabb távon — nem állandó, hanem változó érték, amit nem tudunk az idő vagy valamely más változó függvényében előre leírni, mert a kimenet normáját rövidebb időszakaszokra előre csak az előző időszakaszokban elért állapotok ismeretében tudjuk meghatározni (*adaptív irányítás*). Olyan szűkebb időhorizonton pedig, amelyen belül a vállalat célját egyértelműen meg tudjuk határozni és a mérhető összehasonlítást lehetővé tevő *preferált mutatót* a kimeneti értékek függvényében ki tudjuk fejezni, *optimális irányításról* (LANGE, 1967) beszélhetünk. Ez egy visszacsatolásos irányítási folyamatban a függvény extrémális helyének ismételt meghatározásain alapul.

Az operációkutatás alkalmazásaiban és elméletének továbbfejlődésében az *elektronikus számítógépeknek* nagy szerepük van. Az operációkutatás lehetőségei ennek az eszköznek segítségével hatalmas mértékben megnövekedtek. De nem szabad abba a túlzásba esni, hogy az operációkutatás létét teljesen a számítógépek függvényének tekintsük. Az operációkutatás megelőzte a számítógépeket és számos kisebb operációkutatási probléma megoldható egyszerűbb eszközökkel is. Jövője azonban mindenképpen igen erősen össze van kötve az *információfeldolgozás* és a *számítástechnika* bázisainak fejlődésével.

#### IV. Az operációkutatás nehézségei

A fogalmi és a döntéseméleti modell megalkotásában, az optimum megtalálásában, a döntés hasznosításában, folyamatos javításában az operációkutatásnak számos *nehézséggel*, korláttal kell megküzdenie. Jelentkeznek ezek már a döntési szükséglet felismerésénél és a fogalmi modell megalkotásánál is. Jó, ha az operációkutatási csoport a vizsgált rendszertől minél függetlenebb. Természetesen a gondolati *ragaszkodás*, a *tekintélyi elv* és az *apriorizmus* mindig korlátozhatja a kutatót. Ezek felett azonban a tudomány folyamatosan győzedelmeskedik.

A vizsgált szituációt, problémát mindig el kell határolni, mert a valósággal teljes komplexségében nem birkózhatunk meg. De hogy hogyan kell egy vezetési problémát — amely mindig egyedi és nem sztereotip — elhatárolni, arra nincs egyértelmű válasz. Mindenesetre előbb a probléma létezését kell felismerni, annak természetét a fogalmi modellben meg kell vizsgálni és a matematikai megfogalmazásra csak azután lehet áttérni. Közben sokszor nem csekély nyelvi, logikai nehézséggel kell megküzdennünk.

Tagadhatatlan nehézséget okoz a *jövő eseményeinek véletlenszerűséggel terhelt és hiányos ismerete*. Az operációkutatás feladata, hogy pontosan meghatározza, vizsgálódásaihoz milyen és minimálisan mennyi adatra van szüksége és ha kell, a lényeges informatív tényezők mérésének módját is kidolgozza. Természetesen minél többet tudunk mérni és számszerűsíteni, a tényeket hiteles információk révén minél jobban fel tudjuk deríteni, minél jobban tudjuk következtetni a jövőt, számítani az eshetőséget és a kockázatot, annál kevésbé támadható döntésünk. Az operációkutatónak azonban modellképzésével az információigényt reális szintre kell hoznia.

A döntéelméletnek egy általános matematikai korlátja, hogy az *optimalást egyszerre csak egy lényeges jellemzőre* mint függő változóra tudjuk elvégezni. Ezen igyekszik segíteni az *értékelemzés*, az optimalás céljának kifinomult megválasztásával. Természetesen a tevékenység többi fontos kvantifikált jellemzője korlátként mindig beépíthető a modellbe, és e korlátok értékeinek változtatása módot ad arra, hogy a legfontosabb jellemzők kölcsönhatását szimulációs úton megfigyeljük.

Sokszor, amikor az *előrejelzést* célszerűbb lenne *adaptív folyamatként* megvalósítani, nehézséget okoz, ha a kutató egy korrekt döntéelméleti modell és algoritmus alkalmazásához ragaszkodik. Pedig nyilvánvaló, hogy egy konvergens, sztochasztikus hálózat végpontjára vonatkoztatott jellemzőknek a pontossága az előrehaladással javítható. Az adaptív előrejelzés a radar helymeghatározásához hasonlítható, de az események itt nem térben, hanem időben változnak.

A jövőbeli kereslet megbecsülésére az *extrapolálást* használjuk, ami ugyancsak sok gondot okoz. Jól tudjuk, hogy valami előre nem látott, jelentős esemény közbejöhet és megváltoztathatja az egész dolgot. Ezért a gyakorlati érzék azt diktálja, hogy leginkább a *legutóbbi tapasztalatunkra* támaszkodjunk. Így a gyakorlati ember előrejelzési folyamata jól jellemezhető egy *Markot-lánccal*. Ennek a tapasztalatnak a hatására fejlődött ki az *exponenciális csillapítás*, amely révén az extrapolációt a jelentől visszafelé távolodó események mind kisebb súllyal befolyásolják. Tehát azzal, hogy igaznak ismerjük el azt, ami van és csökkenő súllyal vesszük figyelembe annak igazságát, ami volt, előrelátásunk állandóan javítja önmagát.

Beszélhetnénk még olyan *matematikai nehézségekről*, mint az elsősorban minőségi döntésekre jellemző egész értékű változók, az állandó költségek, a



degresszíven (sőt inflexiósan) növekvő költségalakulások stb. jelenléte a modellben. Semmiképpen nem hagyható figyelmen kívül az elérhető számítógép *tároló kapacitásának*, információ-feldolgozási *sebességének korlátja* sem.

Az operációkutatás eredményeinek hasznosítása, folyamatos alkalmazása sokszor szubjektív akadályokba és csoportérdekekbe ütközik. Részben talán ezzel is magyarázható, hogy a döntéselméleti módszerek irodalmának óriási növekedéséhez, egyetemi oktatásának fejlődéséhez viszonyítva a döntéselméleti eljárásokkal kapott megoldások gyakorlati megvalósítása tekintetében világviszonylatban is lemaradás tapasztalható. De gyakran következménye lehet ez a helytelenül értelmezett operációkutatásnak, a konkrét szituációt torzán tükröző modellnek, a döntéselméleti eljáráshoz való túlzott ragaszkodásnak, a tudomány és ezen belül a matematika fetiszizálásának. Az is előfordul, hogy az operációkutatás helyes, célirányos javaslatai a társadalmi-politikai életnek (előre nem ismert vagy fel nem tárt) szövevényes érdekei, a modellben nem szereplő, esetleg nem is számszerűsíthető céljai és hatásai miatt nem valósulnak meg. Azonban a megvalósíthatatlan javaslatok is hasznosak lehetnek, ha felhasználják annak elemzésére, értékelésére, hogy a végül is döntő érdek milyen áldozatot kíván.

## V. A következtetések

*Összefoglalva* megállapíthatjuk, hogy az elmúlt harminc év alatt az operációkutatás *öntanuló rendszerben* végbemenő folyamatként is sokat fejlődött. Elméletének szélesedését és mélyülését hatalmas szakirodalma, számos folyóirata jelzi. Gyakorlati alkalmazásairól elég meggyőzőek a nagy cégek, vállalatok, intézmények álláshirdetései. Ezért azt a — főleg a II. világháború katonai operációkutató csoportjaiban kialakult — szemléletet, amely szerint az operációkutatásnak nincsenek szakemberei és nincs saját elmélete, joggal tekinthetjük elavultnak. A mai operációkutatás már nem elégedhet meg a tudomány okos művelőinek közreműködésével, hanem mindinkább szüksége van a saját elméletében is képzett és gyakorlatában járatos szakemberekre, kutatókra. Helyesen felismert gyakorlati jelentősége éppen saját diszciplínáinak nagyrészt az utóbbi két évtizedben történt kialakulása révén növekedett meg, így a kezdeti kizárólagos *gyakorlati tevékenység* mellett egyre inkább előtérbe került a szaktudományi jelleg is.<sup>4</sup> Úgy véljük, hogy a bevezetőben említett definíciókkal szemben helyesebben fejezzük ki az operációkutatás mai tudományos és gyakorlati helyzetét, ha azt mondjuk: *operációkutatásnak nevezzük azt a szakterületet, amely a vezetési döntések és irányítási rendszerek tudományos megalapozásának elméletével és gyakorlatával foglalkozik.*

<sup>4</sup> A *Bolsaja Szovjetszkaja Enciklopédia* 51. kötete például már tudományterületként definiálta az operációkutatást.

Az elnevezés talán nem a legszerencésebb, de nagyon találó és má már általánosan elterjedt, a szakterület pedig adott. Annak ellenére, hogy a tudományterület művelésére hazánkban sok szempontból kedvezők a feltételek és az indulás igen lendületes is volt, a jelenlegi helyzettel már nem lehetünk elégedettek. Az ilyen irányú szakemberképzés hiánya, elégtelensége egyre erősebben érezhető. Tudományos és felsőoktatási életünk vezetőinek ezekre az új jelenségekre az eddiginél jobban kellene figyelniök.

#### IRODALOM

1. ACKOFF, R. L.: Progress in Operations Research, New York 1961.
2. ACKOFF, R. L.—SASieni, M. W.: Fundamentals of Operations Research, New York 1968.
3. BEER, St.: Decision and Control, London 1966.
4. CHURCHMAN, C. W.—ACKOFF, R. L.—ARNOFF, E. L.: Introduction to Operations Research, New York 1957.
5. JÁNDY G.: Operációkutatással a közlekedés erőforrásainak hatékonyabb felhasználásáért. *Közlekedéstudományi Szemle* (1961), X.
6. JÁNDY G.: Operációkutatás. *Magyar Tudomány* (1965).
7. JÁNDY G.: Telepítési operációkutatás. *Magyar Tudomány* (1968), VII—VIII.
8. LANGE, O.: Bevezetés a közgazdasági kibernetikába. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1967.
9. TOMLINSON, R. C.: Decision-Making, Operational Research and the Systems Approach. *Operational Research Quarterly* 19, Special Conference Issue.
10. TRAPEZNYIKOV, V.: Gazdasági rendszerek irányítási kérdései. *Közgazdasági Szemle* (1969), VI.
11. WILLIAMS, E. C.: The Origin of the Term „Operational Research” and the Early Development of the Military Work. *Operational Research Quarterly* (1968), VI.

**Optimal Decision and Control.** During the last thirty years under the name of Operation Research a new science has been developed, which has already important applications. The paper presents a review of the development, the aims, the methods, the scientific tools and the still existing difficulties of this young branch of science.

**Optimale Entscheidung und Lenkung.** In den letzten 30 Jahren hat sich unter dem Namen Operationsforschung ein — in seinen Anwendungen bereit bedeutendes — neues Wissenschaftsgebiet entwickelt. Die Arbeit gibt eine gedrängte Übersicht über die Entstehung, die Ziele, die Methoden, die wissenschaftlichen Mittel und die noch bestehenden Schwierigkeiten dieses jungen Wissensgebiets.

# DIFFÚZIÓ ÉS DISZPERZIÓ A VÍZÉPÍTÉSI HIDRAULIKÁBAN

STAROSOLSKY ÖDÖN\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA\*\*

A tanulmány összefüggő képet ad a turbulens diffúzió és diszperzió elméletének vízépítési alkalmazási lehetőségeiről. A szennyvizek bevezetésének és elkeveredésének nehézségei irányítják a figyelmet a turbulens keveredés, a diffúzió és diszperzió jelenségére. Az oldott anyag és a hő elkeveredési jelenségeit teljesen azonos jellegű összefüggések írják le, amelyek egyes esetekben matematikailag is megoldhatók a változó kezdeti és határfeltételek függvényében. Az anyagmegmaradás és a diffúzió alapegyenletei a vízfolyásokban bekövetkező elkeveredés leírásának is alapjai, amelyek megoldásához azonban ismerni kell a turbulens diffúziós tényezőket vagy a hosszirányú diszperziós tényezőt, amelyek az áramlás és a meder sajátságaitól függenek. A vízfolyásokban végbemenő folyamatokban a töménység keresztirányú változása is jelentős. A különböző tulajdonságú rétegek határán is diffúzió megy végbe. A vízépítési hidraulikában szokásos torzított modellek számszerű összefüggések meghatározására alkalmatlannak látszanak, mert a folyamat csak torzítatlan modellen lesz a valóság hű képe.

## JELÖLÉSEK

|          |  |
|----------|--|
| <i>a</i> | amplitúdó, beadagoló cső átmérője                        |
| <i>b</i> | szélesség, vastagság,                                    |
| <i>c</i> | töménység  |
| <i>d</i> | átmérő   |
| <i>e</i> | a természetes logaritmus alapszáma                       |
| <i>g</i> | súrlódási ellenállás tényező, szelvényterület            |
| <i>h</i> | nehézségi gyorsulás                                      |
| <i>h</i> | vízmélység   |
| <i>k</i> | állandó  |
| <i>l</i> | hossz-méret  |
| <i>m</i> | kitevő   |
| <i>n</i> | kitevő, Manning-féle érdességi tényező                   |
| <i>p</i> | kitevő   |
| <i>r</i> | sugár, sugárirányú poláris koordináta, hidraulikus sugár |
| <i>q</i> | kitevő   |
| <i>s</i> | sótartalom (sötöménység)                                 |
| <i>t</i> | idő  |
| <i>u</i> | <i>x</i> irányú sebesség-összetevő                       |
| <i>v</i> | <i>y</i> irányú sebesség-összetevő                       |
| <i>w</i> | <i>z</i> irányú sebesség-összetevő, ülepedési sebesség   |
| <i>x</i> | <i>x</i> koordináta (indexként a komponens jele)         |
| <i>y</i> | <i>y</i> koordináta                                      |
| <i>z</i> | <i>z</i> koordináta                                      |
| —        | (felülvonás): középérték vagy dimenzió nélküli érték     |

\* A szerző a VITUKI Vízépítési Kutatási Főosztályának vezetője, a norvég és magyar állam közötti kulturális egyezmény keretében folytatott tanulmányokat Norvégiában. Jelen tanulmány ennek során készült.

\*\* Dr. STAROSOLSKY ÖDÖN, Budapest II. Mártírok útja. 61—63.

|               |   |
|---------------|---|
| '             | (felső vessző): pulzációs összetevő   |
| $\iota$       | (alsó index): turbulens   |
| $o$           | (alsó index): kezdeti érték   |
| $m$           | (alsó index): molekuláris   |
| $t'$          | dimenzió nélküli idő  |
| $A$           | szelvényterület   |
| $B$           | szélesség, jellemző méret   |
| $C$           | állandó   |
| $D$           | diffúziós tényező   |
| $F$           | időegység alatti anyagátadás mennyisége az egységnyi felületen, függvényérték |
| $H$           | (indexként) a hőre vonatkozó  |
| $I$           | esés  |
| $K$           | kísérleti tényező   |
| $L$           | hosszúság   |
| $M$           | anyag tömege, (indexként) a mozgásra vonatkozó                                |
| $P$           | a dagály során belépő víztömeg  |
| $R$           | hidraulikai sugár   |
| $Q$           | vízhozam  |
| $T$           | transzformált idő, dagályperiódus ideje                                       |
| $X$           | X koordináta tengely  |
| $Y$           | Y koordináta tengely  |
| $Z$           | Z koordináta tengely  |
| $Fr$          | Froude-szám   |
| $Re$          | Reynolds-szám   |
| $Pr$          | Prandtl-szám  |
| $Ri$          | Richardson-szám   |
| $u^*$         | csúsztató sebesség  |
| $u^*$         | dimenzió nélküli sebesség   |
| $y^*$         | dimenzió nélküli méret  |
| $\alpha$      | paraméter   |
| $\beta$       | paraméter   |
| $\delta$      | határréteg vastagság; $\delta(x)$ a Dirac-féle függvény                       |
| $\kappa$      | a Kármán-féle univerzális állandó   |
| $\lambda$     | méretszorzó (az átszámítandó mennyiségre index utal)                          |
| $\tau$        | idő tartam, csúsztató feszültség  |
| $\Phi$        | paraméter   |
| $\varrho$     | sűrűség   |
| $\gamma$      | fajsúly   |
| $\mu$         | a dinamikai molekuláris viszkozitás   |
| $\nu$         | a kinematikai molekuláris viszkozitás   |
| $\eta$        | a dinamikai örvényviszkozitás   |
| $\varepsilon$ | a kinematikai örvényviszkozitás   |
| $\sigma$      | paraméter   |

### 1. A diffúzió és diszperzió jelentősége

A vízépités alaptudományai a hidrológia, a hidraulika és hidromechanika legtöbb esetben a természeti körfolyamatban mozgó vizet *homogén folyékony anyagnak* fogják fel. A jelenségek jó részének vizsgálatakor ez a feltevés teljesen helytálló, mert az elemi részecskék szerepe elhanyagolható vagy helyettük más fogalmak (pl. áramvonal) bevezetése célszerű.

A sós és édesvíz találkozásánál lejátszódó jelenségek irányították a figyelmet a molekuláris és turbulens keveredés jelenségére, ahol a különböző anyagi tulajdonságú részecskék halmazának viselkedését kell nyomon követni. Az újabb időkben a szennyvízbevezetések fokozódó nehézségei jelentkeztek és ezek diffúziós és diszperziós kérdéseket vetettek fel.

Az oldatok viselkedése, az anyagátadás jelensége és a hő terjedése közötti hasonlóságot a fizikában már *régen felfedték* és a hődiffúzió fogalmát vezették be. A szilárd hordalék részecskék eloszlásának leírását a diffúzió analógiájára oldották meg az ún. *diffúziós elmélet* követői. A mozgási folyamatok jellemzésére is bevezették a fogalmat és a különböző sebességű rétegek mozgási energiájának cseréjére is alkalmazzák a diffúzió vagy talán inkább diszperzió fogalmat. A három jelenséget a  *folyadék-, hő- és anyagmozgást leíró differenciálegyenletek közötti szoros hasonlóság* [1] és a jelenségek jellemzésére szolgáló anyagi állandók azonos matematikai szerepe teszi lehetővé a három jelenség bizonyos fokig hasonló megközelítését.

A vízfolyások és tavak *hőszennyezésének* és a hűtőtavakbeli hőmozgásoknak a leírása szintén a diffúzió alapösszefüggéseinek alkalmazásán alapul. Az ún. *sűrűségi rétegzett áramlások* közötti cserélődés diffúziós jelenség. A különféle vízbeeresztések hidraulikai folyamatai mozgásdiszperzióra vezethetők vissza.

Mindez a sokoldalú jelentkezés indokolja, hogy a diffúzió és diszperzió jelenségének leírására szolgáló általános összefüggéseket és néhány alkalmazásukat, valamint a diffúziós és diszperziós tényezőkre vonatkozó ismereteket összefoglaljuk és néhány példát ismertetünk.

A kérdés nemzetközileg elismert fontosságát mutatja, hogy az a *Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség* (IAHR) 1965. évi leningrádi és 1967. évi fort-collinsi kongresszusán egyaránt napirenden szerepelt [2, 3]. Ennek ellenére a diffúzió és diszperzió fogalmát ma sem használják egyértelműen. A következőkben *diffúzió*n az anyag-töménység gradiensirányú mozgását értjük, míg diszperzió esetén a diffúzió'n kívül turbulens mozgás turbulens összetevőjének elsodró hatása is érvényesül, és a kettő együttes hatására bekövetkező konvektív anyagátvitelről van szó, ahol a konvekciós tagban mindenkor a keresztaszelvénny középsebessége szerepel. Ennek megfelelően a diszperziós tényező a keresztaszelvénny belüli egyenlőtlen sebességeloszlást is figyelembe veszi. Vagyis a két- vagy háromdimenziós diffúziót egydimenziós diszperzióra vezethetjük vissza, ha a jelenséget leíró összefüggésben ezt a ténytet megfelelő diszperziós tényezővel vesszük figyelembe.

## 2. A molekuláris diffúzió alapösszefüggései és a diffúziós tényező

A diffúziót úgy fogalmazhatjuk meg, hogy az egy skaláris (hőmérséklet, oldott anyag, szuszpenzió) vagy egy vektoriális mennyiség (sebesség) szállítása a szállított mennyiség töménységgradiense irányában a kisebb töménységű hely felé. (A folyadékok és gázok mechanikájában molekuláris és turbulens diffúzió létezik.)

A molekuláris diffúziót a Brown-féle mozgás idézi elő és egyetlen anyag-állandóval, a molekuláris diffúziós tényezővel jellemezhető. A turbulens



diffúziót az örvényes, turbulens mozgás hozza létre, és a turbulens diffúziós tényező jellemzi, amely azonban nem anyagállandó, hanem az áramlás sajátosságaitól függ.

Az alapvető összefüggéseket a molekuláris diffúzióra vezették le — és ezért röviden ezt tárgyaljuk először —, de az alapelvek érvényesek a molekuláris és turbulens diffúzióra egyaránt, ha a diffúziós tényezőt az összefüggésekben a kétféle diffúziós tényező összegével helyettesítjük.

A molekuláris diffúziós jelenség matematikai leírásának az alapja a Fick-féle összefüggés

$$F = -D \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (1)$$

ahol  $F$  az anyagátadás az egységnyi felületen,  $c$  a diffundáló anyag töménysége,  $x$  a távolság a felülettől merőlegesen mérve és  $D$  a diffúziós tényező. Az összefüggés azt mondja ki, hogy a felületegységen átadott anyag arányos a rá merőlegesen mért töménység-gradienssel.

Az anyagmegmaradás egyenletét alkalmazva levezethető, hogy

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Ha a diffúziós tényező térben és időben állandó a Fick-féle törvényt behelyettesítve, az ún. Fick-féle második törvényt kapjuk:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (3)$$

Egy dimenzió esetében

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (4)$$

azaz a töménység időbeli változása arányos a töménység gradienseinek hely szerinti változásával.

Gyakorlati esetekben a  $D$  diffúziós tényező gyakran függvénye a töménységnek és a közeg sem homogén, azaz  $D$  pontról pontra változik. Ebben az esetben

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial c}{\partial z} \right), \quad (5)$$

ahol  $D = f(x, y, z, c)$ .

Ha a diffúziós tényező az idő függvénye, azaz  $D = f(t)$ , de a többi változótól nem függ, bevezethető egy új időlépték

$$dT = f(t) dt \quad (6)$$

és ekkor a diffúziós differenciálegyenlet

$$\frac{\partial c}{\partial T} = \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

alakra vezethető vissza, most már az új  $T$  változóval.

Alapjában azonban minden egyenlet

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \text{div} (D \text{ grad } c) \quad (8)$$

alakra vezethető.

A diffúziós egyenlet általánosan megoldható a változó kezdeti és határfeltételek függvényében, feltéve, hogy a diffúziós tényező állandó. A megoldás vagy a hibafüggvények és csatlakozó integrálok sorából vagy szögfüggvények sorából áll, amelyek nagyobb időtartamnál konvergálnak. Hibafüggvények esetében a számszerű megoldás rövidebb időtartamra, azaz a diffúzió kezdeti szakaszára megfelelő.

A megoldásokban három alapvető módszer szerepel: a reflexió és szuperpozíció (hibafüggvénytör) esetén, a változók szétválasztása (szögfüggvény sornál) és a Laplace-féle transzformáció, amely mindkét függvénytípusra alkalmazható.

Néhány egyszerű esetre — síkbeli áramlásban — a megoldást a későbbiekben ismertetjük, míg bonyolultabb feladatok matematikai megoldását illetően CRANK könyvére utalunk [6].

A diffúzióra vonatkozóan számos matematikai megoldás [6] létezik különféle határfeltételek esetében, állandó és töménységtől függő diffúziós tényezőre vonatkozóan, állandó és változó töménységre, a diffundáló anyagra nézve áteresztő és át nem eresztő határfelületekre síkbeli, henger- és gömbkoordináta rendszerekben. A molekuláris diffúzió megoldásai állóvizekben és laminárisan mozgó vizekben fontosak, turbulens mozgásnál esetleg teljesen elhanyagolható jellegűek.

### 3. A turbulens diffúzió áramlásokban

A turbulens áramlásban végbemenő töménységváltozásokat részben a turbulencia, részben az áramlás szállítóképessége okozza. Bár az alapvető differenciálegyenlet levezetése eléggé ismert, a teljesség kedvéért foglaljuk össze [4].

Az anyagmegmaradás törvényét egy  $dx$ ,  $dy$  és  $dz$  elemi méretekkel jellemzett hasábra felírva és a sűrűség változását elhanyagolva, azaz a sűrűséget állandónak véve, továbbá a turbulens pillanatnyi értéket a középérték és a pulzáció összegével kifejezve, és ezeket az időben átlagolva kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\bar{c} + \bar{c}')}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(\bar{c} + \bar{c}')(\bar{u} + \bar{u}')] + \\ + \frac{\partial}{\partial y} [(\bar{c} + \bar{c}')(\bar{v} + \bar{v}')] + \frac{\partial}{\partial z} [(\bar{c} + \bar{c}')(\bar{w} + \bar{w}')] = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

ahol  $c$  a töménység, a diffundáló anyag tömegének viszonya a teljes oldattömeghez,  $u$ ,  $v$  és  $w$  az  $x$ ,  $y$  és  $z$  irányú sebesség-összetevők, a felülvonás az időbeli átlagértékre, a vessző index a pulzációs tagra utal.

Mivel a pulzáló érték időbeli középértéke egy pulzációs tag és egy középérték szorzata (pl.  $\overline{uc'}$ ), zérus, az egyenlet egyszerűsödik,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}\bar{c}) + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}'\bar{c}') + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}\bar{c}) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}'\bar{c}') + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{w}\bar{c}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{w}'\bar{c}') = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Felhasználhatjuk a turbulens áramlás folytonossági egyenletét, azaz

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0, \quad (11)$$

és így az anyagmegmaradási egyenlet

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}'\bar{c}') + \\ + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}'\bar{c}') + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{w}'\bar{c}') = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

A keresztszorzatok, mint  $\overline{u'c'}$  a turbulens pulzáció okozta tömeg fluxust jelképezik. A Fick-féle diffúziós törvény analógiája alapján a diffúziós tömegáram arányos a közepes töménység-gradienssel és a tömegáramlás a csökkenő

gradiens irányában halad, így

$$\overline{u'c'} = -D_{tx} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}, \quad (13a)$$

$$\overline{v'c'} = -D_{ty} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y}, \quad (13b)$$

$$\overline{w'c'} = -D_{tz} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}. \quad (13c)$$

Ezek behelyettesítése után az összenyomhatatlan folyadék turbulens áramlásának térbeli konvektív-diffúziós differenciálegyenlete

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{tx} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ty} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{tz} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Mint az előző fejezetben is említettük, nem szükségszerű, hogy a turbulenciából eredő három diffúziós tényező azonos legyen. A baloldali tagok közül az első a töménység időbeli változását veszi figyelembe, a következő három a folyadék sebességével járó anyagszállítást írja le, míg a jobboldali tagok a nem advektációs eredetű turbulens anyagszállítást jellemzik.

A következőkben az egyszerűség kedvéért elhagyjuk a középértéket jelölő felülvonást, de felhívjuk a figyelmet, hogy minden érték időbeli átlag.

Mivel a feladatok egy része visszavezethető egydimenziós diffúzióra, először foglalkozunk ennek néhány jellemző esetével. Ekkor a töménység csak a  $t$  idő és  $x$  hely függvénye, így  $\partial c / \partial y = 0$  és  $\partial c / \partial z = 0$ , valamint  $v = 0$ , és  $w = 0$ , az  $x$  irányú sebesség pedig permanens egyenletes vízmozgásnál  $u = \text{const}$ . A differenciál egyenlet így:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{tx} \frac{\partial c}{\partial x} \right). \quad (15)$$

Az egyenlet megoldása nyilvánvalóan a kezdeti és határfeltételektől függ. Látható, hogy az egyenlet abban tér el a molekuláris diffúzió előbbiekben ismertetett [4] egyenletétől, hogy az  $u \cdot \partial c / \partial x$  konvekciós tagot tartalmazza és benne a molekuláris  $D_x$  helyett a  $D_{tx}$  turbulens diffúziós tényező szerepel.

Vizsgáljuk először azt az egyszerű esetet, midőn a töménység  $x = 0$ -nál állandó. Az áramlás iránya  $x$  pozitív irányba mutasson és  $x = 0$ -nál legyen

egy határfelület, amely elválasztja kezdetben  $t = 0$  időpontnál a kétféle folyadékot. A turbulencia legyen homogén, azaz  $D_{xt} = D_t$  és  $x$ -től független. A kezdeti határfeltételek ezek szerint:

$$c(0, t) = c_0, \quad t \geq 0,$$

$$c(x, 0) = 0, \quad x > 0,$$

$$c(\infty, t) = 0, \quad t \geq 0.$$

A megoldás a relatív töménységre (1.a. ábra)

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} e^{\frac{ux}{D_t}} \operatorname{erfc} \left( \frac{x + ut}{2\sqrt{D_t t}} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{x + ut}{2\sqrt{D_t t}} \right) \quad (16)$$

emlékeztet a molekuláris diffúzió megoldására. A töménység-görbe középső pontja ( $c = c_0/2$ )  $u$  sebességgel mozog. Amint  $t \rightarrow \infty$ , a permanens állapot elérésekor pozitív  $u$  esetén  $c/c_0 = 1$ , minden  $x$  értékre, mivel  $\operatorname{erfc}(+\infty) = 0$  és  $\operatorname{erfc}(-\infty) = 2$ .<sup>1</sup>

Az egyenletből látható, hogy ha  $u = 0$ , a határfeltétel tartása érdekében a kezdeti töménység a negatív  $x$  mezőnyben  $2c_0$  és így

$$\frac{c}{c_0} = \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_t t}} \right), \quad (17)$$

tehát a molekuláris diffúzió egyenletét kaptuk meg [6].

Ha a sebesség negatív  $x$  irányba mutat (1.b. ábra), azaz  $u = -u_r$ , és feltéve  $t \rightarrow \infty$  állapotot, a permanens helyzetet a

$$\frac{c}{c_0} = \exp \left( -\frac{u_r x}{D_t} \right) \quad (18)$$

exponenciális függvény írja le, ha  $D_t$  és  $u_r$  független  $x$ -től.

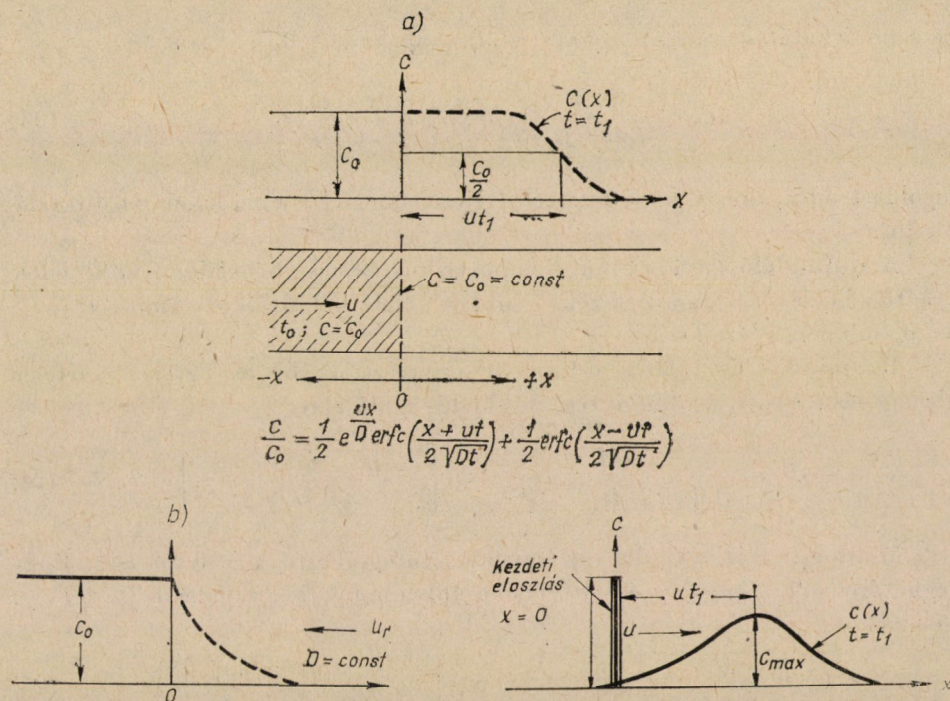
Permanens állapotban egyensúly van a diffúziós tag következtében  $+x$  irányban előálló szállítás és a  $-x$  irányba mutató konvekció között. Ezt jellemzi a

$$-u_r \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left( D_{tx} \frac{dc}{dx} \right) \quad (19)$$

egyenlet.

<sup>1</sup> Az  $\operatorname{erfc}$  jelölés (error function compliment) a hibafüggvény kiegészítésre utal, az  $\operatorname{erfc} z = 1 - \operatorname{erf} z$ . A hibafüggvény értéke matematikai kézikönyvekben található.





1. ábra. Áramlásbeli egydimenziós diffúzió egyszerű esetei

A másik érdekes alapeset lehet, midőn a diffundáló anyag egy lökészerű hulláma áll elő (l.c. ábra), azaz egy véges mennyiségű anyag helyezkedik el az áramlásban  $x = 0$  helyen  $t = 0$  időpontban. Az anyagot az áramlás az  $x$  pozitív irányban sodorja. Legyen  $u$  és  $D$  független  $x$ -től. A kezdeti feltételt a Dirac-féle  $\delta(x)$  delta függvény közelíti meg és a koncentráció

$$c(x, 0) = \frac{M}{\rho A} \delta(x), \quad (20)$$

ahol  $M$  a beeresztett anyag tömege és  $A$  a keresztmetszvény, amelyben eloszlik. A delta függvény alapvető tulajdonsága, hogy

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1. \quad (21)$$

Az anyagmegmaradás elve alapján

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} c(x, t) dx &= \int_{-\infty}^{+\infty} c(x, c) dx = \\ &= \frac{M}{\rho A} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = \frac{M}{\rho A} \end{aligned} \quad (22)$$

azt a határfeltételt véve, hogy  $c(\pm\infty, t) = 0$ , ha  $t \geq 0$ , TAYLOR a

$$c = \frac{M}{A\varrho(4\pi D_t t)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{4D_t t}\right] \quad (23)$$

megoldást adta, amely  $u = 0$  esetén teljesen megfelel a molekuláris diffúzió-nak [6].

A diffundáló anyag tehát szimmetrikus Gauss-görbéként vonul lefelé és a töménység csúcsának értéke csökken lefelé haladtában. Amint  $t \rightarrow \infty$ ,  $c = 0$ , minden  $x$  értéknél.

Ha minden  $d\tau$  időben  $dM$  anyagot eresztünk be az egyszeri hirtelen beleengedés helyett, a töménység növekedés  $\tau$  idő alatt

$$dc = \frac{dM}{A\varrho[4\pi D_t(t-\tau)]^{1/2}} \exp\left\{-\frac{[x-u(t-\tau)]^2}{4D_t(t-\tau)}\right\}. \quad (24)$$

Mínthogy  $dM = Q_i d\tau$ , az egyenlet integrálható  $t = 0$ -tól  $t$ -ig, hogy meghatározzuk a töménység-eloszlást a folyamatos beadagolásra  $0 < \tau < t$  idő alatt:

$$c = \frac{Q_i}{A\varrho(4\pi D_t)^{1/2}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{[x-u(t-\tau)]^2}{4D_t(t-\tau)}\right\} d\tau. \quad (25)$$

az egyenlet integrálható minden  $x$ ,  $t$  és  $u$  érték esetén, ha bevezetjük az

$$\alpha = \frac{ux}{4Dt}, \quad a = \frac{u}{2} \sqrt{\frac{\tau}{D_t}} \quad \text{és} \quad \beta = \frac{u}{2} \sqrt{\frac{t}{D_t}}$$

új változókat, és úgy az egyenlet

$$c = \frac{Q_i}{A\varrho u} \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{2\alpha} \int_0^\beta \exp\left[-\left(\frac{\alpha}{a}\right)^2 - \alpha^2\right] \cdot da \quad (26)$$

alakú lesz. Az egyenletet Riemann oldotta meg [1882-ben]

$$c = \frac{Q_i}{A\varrho u} \left\{ e^{4\alpha} \left[ R_1 \mp \frac{1}{2} \right] + \left[ R_2 \pm \frac{1}{2} \right] \right\} \quad (27)$$

alakban, ahol

$$R_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{2\beta+2\frac{\alpha}{\beta}} \exp\left(-\frac{\Phi^2}{2}\right) d\Phi$$

és

$$R_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{2\beta-2\frac{\alpha}{\beta}} \exp\left(-\frac{\Phi^2}{2}\right) d\Phi.$$

Az egyenletben a felső előjeleket kell pozitív  $x$ -re és az alsót negatív  $x$ -re alkalmazni. Az  $R_1$  és  $R_2$  függvényértéket matematikai könyvekben lehet találni és a hibafüggvény alatti területet jelképezik.

A permanens állapotban,  $t = \infty$  esetén

$$c = \frac{Q_i}{Aq_u}, \quad x > 0\text{-ra}; \quad \text{és} \quad c = \frac{Q_i}{Aq_u} \exp\left(\frac{ux}{Dt}\right), \quad x < 0\text{-ra}.$$

Mielőtt rátérnénk a diffúziós egyenletek vízépítési alkalmazására, foglalkoznunk kell a turbulens diffúziós tényezővel, amelytől — mint láttuk — a jelenségek alapvetően függnének.

#### 4. A turbulens diffúziós tényező

Míg a molekuláris diffúziós tényező egyedül a folyadék anyagi tulajdonsága, a turbulens diffúziós tényező az áramlás sajátosságaitól, tehát a határfelületektől is függ.

Sajnos a vízépítési gyakorlatban éppen a turbulenciára vonatkozó ismereteink hiányosak. Jól jellemezte az állapotot IPPEN A. T. — kissé humorosan — fort-collinsi összefoglaló előadása [7] bevezetőjében, hogy előadása címéül „turbulencia és diffúzió a vízépítésben” helyett választhatta volna „turbulencia és konfúzió a vízépítésben” címet is.

Pedig a turbulens diffúziós tényező a jövő — ma még esetleg bonyolultnak tűnő — számításainál szinte épp olyan nélkülözhetetlen szerepet látszik betölteni, mint az érdességi tényező valamilyen formája a vízfolyások vízszállító-képességének jellemzésére szolgáló számításokban. Ahogy hosszas és fárasztó méréssorozatok után sikerült erre vonatkozóan általánosnak tűnő összefüggéseket felállítani (pl. Nikuradze-féle hárfá-t), valószínűen még sok laboratóriumi és helyszíni mérésre lesz szükség, hogy a diffúziós tényezőt meghatározhassuk.

A legnagyobb nehézséget az jelenti, hogy a diffúziós tényező a kereszt-szelvényen belül is változik a sebességeloszlás függvényében. Mint látni fogjuk, még szabályos sebességeloszlás feltételezése esetében is ellentmondásos elméletek uralkodnak a diffúziós tényező eloszlását illetően.

A mozgás-, hő- és anyagátvitelt leíró alapvető összefüggések szoros hasonlósága [1] azt mutatja, hogy a három folyamat turbulens diffúziós tényezője nagyjából azonos. Egyes vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy a hődiffúziós tényező 20 ÷ 40%-kal is eltér a mozgásdiffúziós tényezőtől.

A gyakorlatban természetesen mindegyik tényező érdekes lehet. Valószínűleg meg kell azonban elégednünk azzal a feltételezéssel, hogy a három tényező egyenlő, és örülni kell, ha egyik megállapítása lehetséges.

A mozgásmennyiség diffúziójának értelmezéséhez vizsgáljunk egy síkbeli áramlást. A Reynolds-feszültségek a

$$\tau = - \overline{\rho u' v'}, \quad (29)$$

ahol  $u'$  és  $v'$  a fluktuációs tagok  $x$ , illetve  $y$  irányában, a  $-\overline{\rho u' v'}$  megadja a  $\rho u'$  mozgásmennyiségnek a  $v'$  hatására bekövetkező átlagos szállítását.

Az áramlás gradiensirányú diffúziója következtében

$$\tau = - \overline{\rho u' v'} = \eta \frac{du}{dy} = \rho \varepsilon \frac{d\bar{u}}{dy}, \quad (30)$$

ahol  $\varepsilon$  a kinematikai és  $\eta$  a dinamikai örvényviszkozitás. Az eredő csúsztató feszültség

$$\tau = \tau_m + \tau_t = (\mu + \eta) \frac{d\bar{u}}{dy} = \rho(\nu + \varepsilon) \frac{d\bar{u}}{dy}, \quad (31)$$

ahol  $\nu$  a kinematikai és  $\mu$  a dinamikai molekuláris viszkozitás, vagyis molekuláris diffúziós tényező a mozgásmennyiségre vonatkoztatva, amely szintén a folyadék anyagállandója.

Ha az áramlás lamináris,  $\nu$  az uralkodó. Az átmeneti tartományban mindkét tényező jelentős, míg a turbulens tartományban  $\varepsilon$  szerepe a döntő.

Teljesen hasonló az anyagátadás jelensége is, ahol skalár mennyiségekkel dolgozunk, mert a töménység fogalmát vezettük be (az oldott vagy lebegő anyag tömege a víz tömegéhez viszonyítva, illetve híg oldatoknál a teljes anyagsűrűséghez viszonyítva). Mivel a víz fajsúlyát és sűrűségét állandónak vesszük, gyakran viszonyítunk a víz térfogategységéhez is. Fontos, hogy mindig megadjuk, hogy melyikről beszélünk, mert utóbbi esetben a töménységnek van dimenziója.

Az előbbieket alapján az anyagátvitel a diffúzió következtében

$$F = - \rho (D_M + D_t) \frac{dc}{dy}, \quad (32)$$

ahol turbulens mozgásnál  $D_M$  szerepe gyakran elhanyagolható, és így

$$F = - \rho D_t \frac{dc}{dy}. \quad (33)$$

A mozgásmennyiség- és az anyagátadás turbulens diffúziós tényezőjét közelálló értékűnek tartják. Oldatok esetében végzett kísérletek szerint az anyag és hődiffúziós tényező nagyobb, mint a mozgásmennyisége turbulens

diffúzióját jellemző örvény-viszkozitás, vagyis  $D_t/\varepsilon > 1$ . Például semleges sugárban  $D_t/\varepsilon \sim 1,4 \div 1,6$  értéket is elér.

A diffúziós tényező, illetve a diffúziós jelenség vizsgálatával négy gyakorlati esetben foglalkozunk:

- a) víz alatti sugárban (betorkolás a befogadóba);
- b) zárt vezetékben;
- c) síkbeli kétdimenziós nyílt felszínű áramlásban;
- d) nyílt mederszelvényben.

Felhívjuk a figyelmet, hogy a következőkben, mikor csak diffúzióról beszélünk, mindig az anyag diffúziójára gondolunk.

Ha az áramlás irányában vizsgáljuk a diffúziós jelenséget, amelyet a hossz- és mélységirányú (keresztirányú) diffúzió együttesen idéz elő, és csak a vonal menti változásra vagyunk kíváncsiak, ezt az ún. diszperziós tényezővel vesszük figyelembe, amely jelentékenyen nagyobb lehet, mint a turbulens diffúziós tényező, amely a különböző sebességgel mozgó vízcsoportok közötti keveredés jellemzője.

A turbulens diffúziós tényező bizonyos mértékig függ a koncentrációtól, és ha szilárd anyagokról van szó, a szemcseeloszlástól és a lebegő anyag fajsúlyától. A kérdéssel az Egyesült Államokban DAILY I. W. foglalkozott [2].

## 5. Diffúzió víz alatti sugárban

Külön kell foglalkoznunk a kétdimenziós diffúzióval vagy sugárdiffúzióval [5], mivel a vízfolyásokba beérkező szennyezés gyakran sugárszerűen terül szét.

Az alapvető differenciálegyenlet álló víz esetében

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}, \quad (34)$$

ha a koordinátarendszerünket úgy vettük fel, hogy  $x$  és  $y$  az egyenlő koncentrációjú pontokat összekötő izokoncentrációs vonalakat írják le.

Az egyenlet megoldása

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \right], \quad (35)$$

ahol

$$\sigma_x = \sqrt{2D_x t} \quad \text{és} \quad \sigma_y = \sqrt{2D_y t}$$



és a határfeltételek

$$c(0,0) = c_0,$$

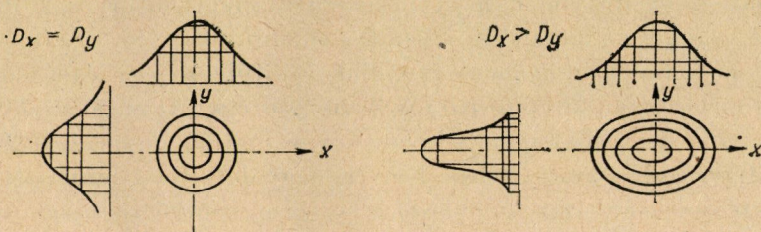
$$c(x,0) = 0,$$

$$\int_0^\infty c 2\pi r dr = c_0 h,$$

ahol  $h$  a vízmélység.

Ha a diffúziós tényezők azonosak,  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$  és

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (36)$$



2. ábra. Síkbeli pontszerű forrás kétdimenziós diffúziójának vázlata

Ha  $\sigma_x = \sigma_y$  az izokoncentrációs vonalak körök, amíg ha  $\sigma_x \neq \sigma_y$ , ellipszisek (2. ábra).

A kétdimenziós anyagmegmaradási egyenlet áramló vízben, ha az  $x$  irányú sebesség-komponens  $u$  és az  $y$  irányú  $v$ :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}. \quad (37)$$

Ha az áramlási sebesség  $x$  irányban sokkal nagyobb, mint  $y$  irányban, a jobb oldal első tagjának szerepe elenyészik és így

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}. \quad (38)$$

Az egyenlet teljesen hasonló a vízszintes síklap feletti határréteg-áramlás differenciálegyenletéhez, ha a lap menti nyomásvesztés elenyésző és nincs az áramlásban sűrűségkülönbség, azaz ha

$$\frac{\partial}{\partial x} (p + \Delta \gamma z) = 0,$$

akkor

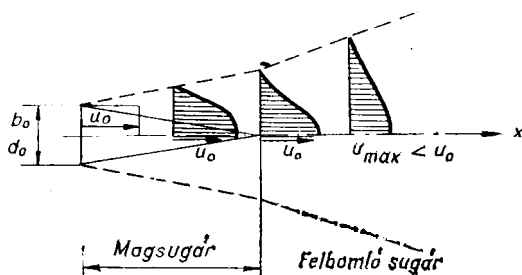
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (39)$$

csupán  $c$  helyére  $u$ -t kell képzelni és az anyag  $D_y$  turbulens diffúziós tényezőjét helyettesíteni kell a mozgás  $\varepsilon$  turbulens diffúziós tényezőjével.

A két egyenlet azonos megoldást ad, ha

$$D_y = \varepsilon.$$

A megoldások fontosak az ún. semleges (súlytalan) sugár és a könnyű súlyú sugár betorkolásoknál. A sugár akkor semleges, ha a fajsúlya teljesen



3. ábra. Semleges vízszintes sugár

azonos a vízzel, amelybe betorkollik. Mindkét esetben foglalkozunk a résen át kijövő (ún. síkbeli) és a körszelvényű csőből kijövő körsugárral.

Vizsgáljuk először a síkbeli semleges sugarat (3. ábra), amely a kitorollásnál kezdődő  $x$  tengely irányába lő és az  $y$  tengely erre merőleges. A sugár az  $x$  irányban úgy fékeződik le, hogy szétterül. Az úgynevezett magsugár addig tart, míg a sebességcsökkenés eléri a cső tengelyvonalában haladó pontot is. Ettől kezdve a sugár sebessége minden pontban csökken. A legnagyobb sebesség mindig a tengelyben lesz, azaz  $y = 0$  értéknél, és a sebességeloszlás szimmetrikus az  $x$  tengelyre, mind  $y$  pozitív, mind negatív irányban. A mag végétől kezdve a sebességeloszlás minden szelvényben hasonló

$$\frac{u}{u_{\max}} = f\left(\frac{y}{x}\right) = f(\xi). \quad (40)$$

Az impulzus-tétel segítségével levezethető, hogy ha a sugár nem emeli meg a befogadó nyomását és a befogadó vízzel teljesen azonos fajsúlyú, az  $u_{\max}$  sebesség  $x^{-1/2}$ -nel arányosan csökken, a megmozgatott víztömeg pedig  $x^{1/2}$ -nel arányosan nő.

Kísérletek szerint [5], ha  $x > L_0$  (magsugártáv), a következő számszerű összefüggések írhatók fel:

$$\begin{aligned}\frac{u_{\max}}{u_0} &= 1,61 \left( \frac{x}{b_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \\ \frac{Q}{Q_0} &= 0,44 \left( \frac{x}{b_0} \right)^{\frac{1}{2}} \\ \frac{L_0}{b_0} &= 5,2\end{aligned}\tag{41}$$

A  $D = \varepsilon$ -ból és a  $c$  és  $u$  közti analógiából következően, ha a kilépési szelvényben  $x = 0$ -nál a töménység  $c_0$ , a relatív maximális töménység

$$\frac{c_{\max}}{c_0} = 1,61 \left( \frac{x}{b_0} \right)^{-\frac{1}{2}},\tag{42}$$

és a szelvény relatív átlagos töménysége

$$\frac{\bar{c}}{c_0} = \frac{Q_0}{Q}.\tag{43}$$

Körsugár esetében — a sugarat vezetve be változóként  $y$  helyett — henger-koordinátákban a differenciálegyenlet

$$\varrho \left( v_r \frac{\partial u}{\partial r} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\tau r),\tag{44}$$

és határfeltételei:

$$\begin{aligned}r &= \infty, \quad u = 0; \\ r &= 0, \quad v_r = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial r} = 0.\end{aligned}$$

A viszkozus

$$\tau = \varrho \varepsilon \frac{\partial u}{\partial r}$$

nyírást a (44)-be helyettesítve és  $\varrho$ -val egyszerűsítve

$$v_r \frac{\partial u}{\partial r} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\varepsilon}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{du}{dr} \right),\tag{45}$$

amelynek megoldása

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(1 + u_{\max} \frac{r^2}{8\varepsilon x}\right)^{-2} \quad (46)$$

ahol  $u_{\max}$  a tengelyirányú maximális sebesség. Kísérletek szerint [5] feltételezhető, hogy

$$\varepsilon = k x u_{\max}, \text{ ahol a kísérleti állandó}$$

$$k = 0,00196,$$

és így a kísérleti adatokból következő összefüggés:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(1 + \frac{r^2}{0,016x^2}\right)^{-2} \quad (47)$$

és

$$\frac{u_{\max}}{u_0} = 6,4 \left(\frac{x}{d_0}\right)^{-1} \quad (48)$$

Tehát  $u_{\max} x^{-1}$ -nel arányosan változik. Behelyettesítve  $u_0$ -t  $u_{\max}$  helyére és kifejezve  $\varepsilon$ -ra

$$\varepsilon = 0,013 u_0 d_0, \quad (49)$$

és a mozgatott mennyiség

$$Q = \int_{-\infty}^{+\infty} u 2\pi r dr = 8\pi \varepsilon x, \quad \frac{Q}{Q_0} = 0,42 \frac{x}{d_0} \quad (50)$$

Tehát  $Q$   $x$ -el arányosan változik. Ez az eredmény eltér attól, amit a Gauss-eloszlás ad a sebességekre

$$\frac{u}{u_{\max}} = \exp\left(-\frac{y^2}{2b^2 x^2}\right) \quad (51)$$

Kísérletek szerint  $b = 0,01$ , és így

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,28 \frac{x}{d_0} \quad (52)$$

Az átlagos töménység eloszlás a szelvényben a hossz mentén

$$\frac{\bar{c}}{c_0} = \frac{Q_0}{Q} \quad (53)$$

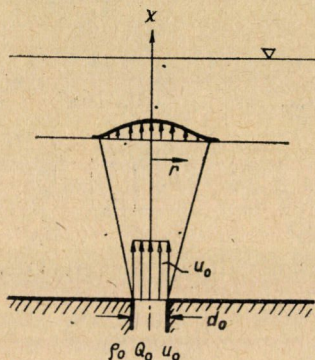


Mivel  $D = \varepsilon$ , a pontbeli töménység-eloszlás teljesen a sebességeloszlást követi és így

$$\frac{c}{c_{\max}} = \frac{u}{u_{\max}} \text{ és } \frac{c_{\max}}{c_0} = \frac{u_{\max}}{c_0}.$$

*A befogadó vízénél könnyebb sugár (4. ábra) síkbeli sugárnál a*

$$\varrho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\Delta\gamma + \varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (54)$$



4. ábra. Függőleges könnyű sugár

és körsugár

$$\varrho \left( v_r \frac{\partial u}{\partial r} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) = -\Delta\gamma + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\tau r) \quad (55)$$

differenciálegyenlet érvényes, ahol  $\Delta\gamma$  a fajsúlykülönbség, amely jelen esetben negatív és felhajtóerőként működik.

ROUSE [13] kísérletei szerint

$$u = 4,7 \left( \frac{-w}{\varrho x} \right)^{1/3} \exp \left( -96 \frac{r^2}{x^2} \right), \quad (56)$$

$$Q = 0,153 \left( \frac{-w}{\varrho} \right)^{1/3} x^{5/3}, \quad (57)$$

$$\Delta\gamma = -11,0 \left[ \frac{\varrho(-w)^2}{x^5} \right]^{1/3} \exp \left( -71 \frac{r^2}{x^2} \right). \quad (58)$$

$$v_e = -0,041 \left( \frac{-w}{\varrho} \right)^{1/3} \frac{x^{2/3}}{r}, \quad (59)$$



ahol  $v_e$  a keveredési sebesség a hossz mentén a sugár szélén és

$$w = 2\pi \int_0^\infty u \Delta\gamma r dr. \quad (60)$$

Bevezetve az ún. sűrűségkülönbségi Froude-számot

$$Fr = \frac{u_0}{\sqrt{\frac{\Delta\gamma}{\gamma} g d_0}}, \quad (61)$$

és behelyettesítve

$$\frac{u}{u_0} = 4,35 Fr^{-2/3} \left(\frac{x}{d_0}\right)^{-1/3} \exp\left(-96 \frac{r^2}{x^2}\right) \quad (62)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,18 Fr^{-2/3} \left(\frac{x}{d_0}\right)^{5/3} \quad (63)$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = 9,35 Fr^{2/3} \left(\frac{x}{d_0}\right)^{-5/3} \exp\left(-71 \frac{r^2}{x^2}\right) \quad (64)$$

$$\frac{v_e}{u_0} = 0,035 Fr^{-2/3} \frac{x^{2/3} d_0^{1/3}}{r}. \quad (65)$$

A töménységeloszlás a  $\Delta\gamma/\gamma$  eloszlást fogja követni, vagyis

$$\frac{c}{c_0} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta\gamma_0} \quad (66)$$

A homogén befogadóba betorkolló sugárra vonatkozóan tehát a következő dimenzió nélküli egyenletek írhatók fel, illetve az egyenletekbeli kitevő a következő:

I. táblázat

| A sugár   |     | Semleges |     | Könnyű  |      |
|---|-----|----------|-----|---------|------|
|   |     | síkbeli  | kör | síkbeli | kör  |
| $\frac{u_{\max}}{u_0} \sim \left(\frac{x}{b_0}\right)^n; \left(\frac{x}{d_0}\right)^n$                          | $n$ | -1/2     | -1  |         | -1/3 |
| $\frac{b}{b_0} \sim \left(\frac{x}{d_0}\right)^m; \left(\frac{d}{d_0}\right) \sim \left(\frac{x}{d_0}\right)^m$ | $m$ | 1        | 1   | 1       | 1    |
| $\frac{Q}{Q_0} \sim \left(\frac{x}{b_0}\right)^p; \left(\frac{x}{d_0}\right)^p$                                 | $p$ | 1/2      | 1   | 1       | 5/3  |
| $\frac{c_{\max}}{c_0} \sim \left(\frac{x}{b_0}\right)^q; \left(\frac{x}{d_0}\right)^q$                          | $q$ | -1/2     | -1  | -1      | -5/3 |

### 6. Diffúzió zárt szelvényben

Egyszerűség kedvéért tárgyaljuk a *körszelvényű* csőbeli permanens áramlás esetét, amely legegyszerűbben *henger-koordinátákban* írható fel és a

$$u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{D_r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial c}{\partial r} \right) \quad (67)$$

differentiálegyenlettel írható le, ahol  $c$  a koncentráció,  $u$  az  $x$  irányú sebesség-összetevő,  $r$  a sugár koordináta,  $x$  a hosszirányú tengelyvonalbeli koordináta és  $D_r$  a radiális diffúziós tényező.  $D_r$  egy szelvénybeli átlagérték jelen esetben, azaz sugárirányban nem változik. A hosszirányú diffúziót elhanyagolhatónak vettük.

Ha a diffundáló anyagot  $q$  hozammal pontszerűen juttatjuk a cső tengelyvonalába, a differentiálegyenlet megoldása

$$c = \frac{cq}{4\pi D_x} \exp \left( -\frac{ur^2}{4Dx} \right). \quad (68)$$

Valójában a beadagolás nem pontszerű, hanem rendszerint  $a$  sugarú, akkor a megoldás

$$c = \frac{c_0 u}{2Dx} e^{-\frac{r^2 u}{4Dx}} \int_0^a \exp \left( -\frac{r'^2 u}{4Dx} \right) I_0(rr'u/2Dx) r' dr', \quad (69)$$

ahol  $c_0$  a beadagolás koncentrációja és  $I_0$  a zérus rendű másodfajú Bessel-függvény; ha a beadagolási sebesség egyenlő az  $U$ -val

$$q = c_0 U \pi a^2 \quad (70)$$

is behelyettesíthető. A  $c_0$  érték helyettesíthető a teljesen elkevert  $c_\infty$  koncentráció segítségével  $c_\infty (b/a)^2$  értékkel is, ahol  $b$  a cső sugara.

Feltételezve, hogy  $\varepsilon \sim D_r$ , ami a leghosszabb diffúziós távot fogja adni, tekintve, hogy rendszerint  $\varepsilon/D < 1$  és bevezetve a  $k = 0,4$  Kármán-féle univerzális állandót a keveredési elmélet szerint HOLLEY és SCHUSTER alapján [9]

$$\varepsilon = \frac{u_* d}{30} \quad (71)$$

ahol  $u_*$  a csúsztató sebesség és  $d$  a csőátmérő.

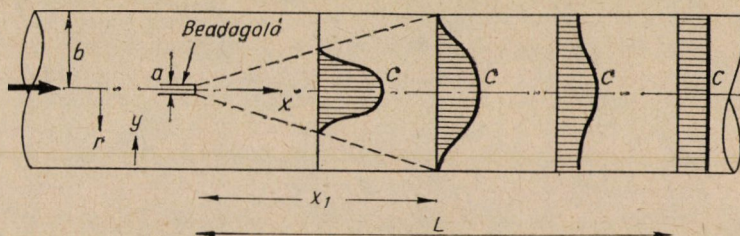
$$D_r \sim \varepsilon = \frac{u_* d}{30} = 0,0118 \sqrt{f} u_0 d \text{ és ebből következőn}$$

$$\frac{D_r}{\nu} = 0,0118 \sqrt{f} \operatorname{Re}, \quad (72)$$

ahol  $f$  a Darcy-féle súrlódási tényező és  $u_0$  az átlagos csőbeli sebesség.

Mivel  $\varepsilon$  a teljes keresztmetszvényre nézve egy átlagértéket ad, ha a diffundáló anyag nem tölti ki a csövet, akkor  $D_r$  kisebb lehet, mint amit az egyenlet ad.

A csőbeli diffúziónál [9] három *jellegzetes periódus* figyelhető meg (5. ábra). A beadagolás közelében a diffundáló anyag nem éri el a csőfalat, *magszerűen* halad. Miután a széle elérte a falfelületet, amelyen nem tud áthatolni,



5. ábra. A csőbeli radiális diffúzió jellemző fázisai

megkezdődik a *szelvénybeli kiegyenlítődés*, ami a második távolságon megvégeződik. A harmadik periódusban az anyag teljesen elkeveredett és gyakorlatilag egyenletesen tölti ki a szelvényt.

Az első szakasz  $x_1$  hossza úgy határozható meg, mint az a szelvény, ahol a fal menti töménység valami csekély értéket, mondjuk a teljes elkeveredés 1%-át eléri. A folytonosságból következően  $q = c_\infty \pi b^2 u_0$ .

Feltéve, hogy az  $u$  közelítőleg egyenlő az  $u_0$ -val az első szakasz végén, ebből következik, hogy

$$\frac{4Dx_1}{b^2u} \approx 0,12. \quad (73)$$

Behelyettesítve  $D = 0,0118 \sqrt{f} \operatorname{Re}$  értéket, az  $x_1$  szakasz hossza:

$$x_1 = d \frac{0,8}{\sqrt{f}}. \quad (74)$$

Mivel egy adott csőnél  $f$  enyhén csökken, ha a vízhozam nő, az  $x_1$  magtávolság nő, ha a vízhozam növekszik. Legnagyobb értéket tehát a maximális vízhozammal éri el.

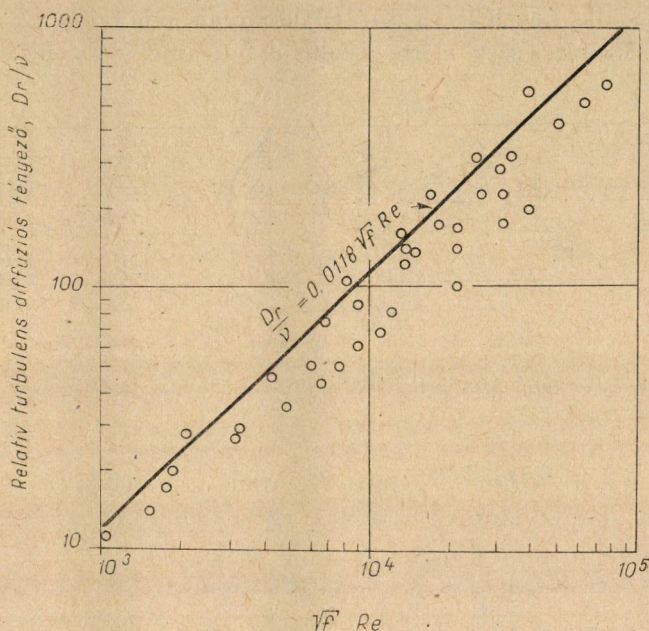
HOLLEY és SCHUSTER [9] levezette, hogy a második szakasz végének



$L$  távolsága

$$L = d \frac{B}{\sqrt{f}}, \quad (75)$$

ahol a  $B$  tényező elsősorban az  $a/b$  viszonyszámtól függ, de nem érzékeny kis  $a/b$  értékek esetén annak változására. Függ még attól is, hogy a teljes elkeveredéshez képest (amit elméletileg csak a végtelenben ér el), mekkora túrést



6. ábra. A relatív diffúziós tényező és a  $\sqrt{f} Re$  összefüggés (Holley és Schuster nyomán)

engedtünk meg. Ha a túrés 1%, azaz  $c/c_\infty = 1,01$  és  $a/b = 2/10$  esetében  $B = 9,25$ .

Az  $L/d$  növekszik, ha  $f$  csökken. Mivel egy adott csőnél, ha a vízhozam vagy a Reynolds-szám nő,  $f$  enyhén csökken, a teljes keveredési táv nő, ha a vízhozam nő.

Ha a  $D_r$  diffúziós tényező a hossz mentén nem állandó, hanem változik (éspedig nő), az átlagos diffúziós tényező a

$$K_{1-2} = \frac{k_2 x_2 - k_1 x_1}{x_2 - x_1} \quad (76)$$

képlettel határozható meg, ahol  $k_1$  és  $k_2$  az átlagos diffúziós tényezők az  $x_1$  és  $x_2$  szakaszra.

HOLLEY és SCHUSTER nyomán közöljük a 6. ábrát, amely összefüggést ad a  $D_r/\nu$  relatív diffúziós tényező és a  $\sqrt{f} \text{Re}$  között. Mivel a vizsgálatoknál a diffúziós mag nem töltötte ki teljesen a teret, a pontok nagy része a  $D_r/\nu = 0,0118 \sqrt{f} \text{Re}$  egyenletet jelképező egyenes alá esik. A méréseket vízben és levegőben, Kripton,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{KCl}$  és más oldatokkal  $7,5 \div 30$  cm átmérőjű üveg-, műanyag-, réz-, galvanizált acélesőben  $0,3 \div 1,5$  m/s sebesség mellett végezték.

Végző megállapításként a teljes elkeveredés távolságaként (amely nyomjelzős vizsgálatoknál, izotópos oldatos vízhozammérésnél igen fontos) a

$$L \sim \left( \frac{9,25}{\sqrt{f}} + 10 \right) d \quad (77)$$

távolságot ajánlják.

A csőben hosszirányú diszperzióval TAYLOR G. I. [10] foglalkozott, aki nek alapvető munkáját számosan idézik.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (78)$$

differenciálegyenletből kiindulva, hosszú egyenes csőre, ahol már az egydimenziósság feltételezhető, a

$$D_L = 10,1 u_* \quad (79)$$

összefüggésre jutott, ahol a cső sugara és  $u_*$  az átlagos csúsztató sebesség. Az összefüggés határfeltételeivel később foglalkozunk a nyílt mederbeli diffúzióánál.

A  $D_L$  diszperziós tényező a keresztmetszvény sebesség-eloszlásától függ és a szelvény középsebességének használatát tételezi fel a (78) egyenletben.

FILMER és YEDJEVICH [3] az elkeveredés mértékére a variációs tényezőt vezették be

$$c_v = \frac{1}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n} (c_i - \bar{c})^2} \quad (80)$$

értelmezéssel, ahol  $\bar{c}$  a szelvény közepes töménysége  $\bar{c} = (1/n) \sum c_i$  és  $c_i$  a mért pontbeli töménység összesen  $n$  szelvénybeli pontban mérve. A variációs tényező és a relatív távolság között

$$c_v = \exp \left( -\beta \frac{L}{D} \right) = K \exp \left( -\beta_1 \frac{\sqrt{f}}{D} \right) \quad (81)$$



összefüggésre jutottak, ahol  $L$  a szakasz hossza,  $D$  a csőátmérő,  $f$  a súrlódási tényező és  $K$ ,  $\beta$  és  $\beta_1$  kísérleti tényezők. Méréseiket  $Re = 2,3 \cdot 10^5 \div 1,8 \cdot 10^6$  Reynolds szám tartományban  $f = 0,0178 \div 0,0111$  súrlódási tényező mellett végezték.  $K$  értékére  $0,852 \div 0,946$  értéket kapták, mégpedig nagyobb Reynolds-számhoz nagyobb  $K$  érték tartozott.  $\beta$  értéke  $0,252 \div 0,257$  között változott, nagyobb Reynolds-számhoz kisebb  $\beta$  tartozott. Úgy vélik, hogy  $K$  és  $\beta$  a kezdeti beeresztéstől függő állandók.

Zárt csőszelvényben a határréteg-elmélet alapján sebesség-eloszlási törvény vezethető le. Bevezetve a sebesség dimenzió nélküli

$$u^+ = \frac{u}{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}} = \frac{u}{u_*} \quad (82)$$

mérőszámát és a távolság

$$y^+ = \frac{y}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$

dimenzió nélküli mérőszámát:

$$\begin{array}{ll} \text{a lamináris alsó rétegben} & y^+ < 5 \text{ -nél } u^+ = y^+ \\ \text{az átmeneti ütköző zónában} & \begin{cases} 5 < y^+ < 30, \\ u^+ = -3,05 + 5 \ln y^+ \end{cases} \\ \text{a turbulens magban} & y^+ > 30, \quad u^+ = 5,5 + 2,5 \ln y^+. \end{array}$$

összefüggés írható fel. Ha a Reynolds-szám nő, a lamináris és az átmeneti réteg közelebb megy a falhoz.

A turbulens diffúziós tényező

$$\frac{\varepsilon_M}{\nu} = \frac{1 - (y/r_0)}{du^+/dy^+}$$

összefüggéssel fejezhető ki és a lamináris rétegben  $\varepsilon_M/\nu = 0$

$$\text{az átmeneti rétegben } \varepsilon_M/\nu = \frac{y^+}{5}$$

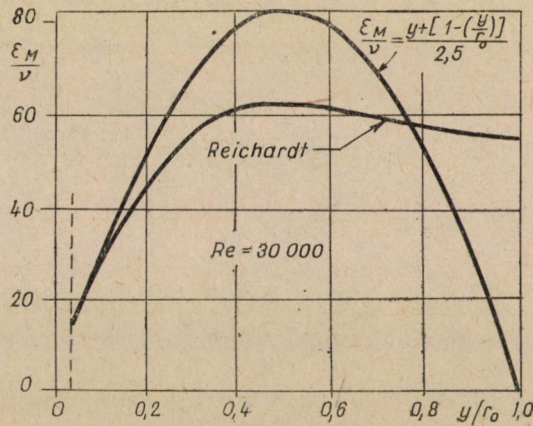
$$\text{a turbulens magban } \frac{\varepsilon_M}{\nu} = \frac{y^+ \left(1 - \frac{y}{r_0}\right)}{2,5} \dots 1$$

A turbulens magban tehát a relatív turbulens diffúziós tényező általában nagyobb, mint egy, de a cső középvonalában —1-hez tart. Ezt a sebesség-eloszlás mesterkélt felvétele okozza.

Ha a molekuláris diffúzió elhanyagolható a turbulenshez viszonyítva, akkor

$$\frac{\varepsilon_M}{\nu} = \frac{y^+ \left[ 1 - \frac{y}{r_0} \right]}{2,5}. \quad (83)$$

A cső közepén az elméleti sebességeloszlásban folytonossági hiány van. Sokan a sugár felében fellépő diffúziót tekintik érvényesnek az egész középső



7. ábra. A diffúziós tényező változása a csőszelvényben

magban. REICHARDT [14] kísérletei szerint (7. ábra) közepén csökkenés van és ezért a

$$\frac{\varepsilon_M}{\nu} = \frac{\kappa r^+}{6} \left[ 1 - \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \cdot \left[ 1 + 2 \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \quad (84)$$

összefüggést ajánlja, ahol  $\kappa$  az

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + C$$

sebesség-eloszlás egyenlet keveredési együtthatója ( $\kappa \sim 0,4$ ).

A turbulens hődiffúziós tényező kissé eltér a mozgásdiffúziótól. JENKINS [14] a hő- és a mozgásdiffúziós tényezőkre a

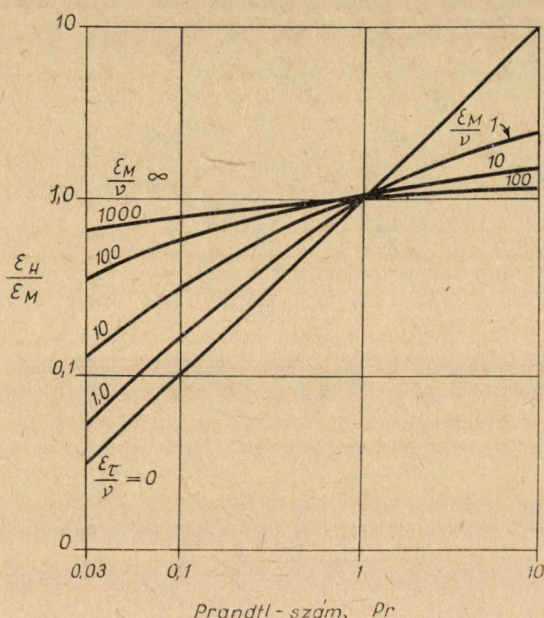
$$\frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_M} = f \left( \text{Pr}, \frac{\varepsilon_M}{\nu} \right) \quad (85)$$



összefüggést adta meg (8. ábra), ahol  $Pr$  a folyadék Prandtl-száma

$$Pr = \frac{\alpha}{\nu}$$

és  $\nu$  a kinematikai viszkozitás, míg  $\alpha$  a hődiffúziós tényező (víz esetén a víz-építési gyakorlatban  $5 \div 14$  között változik). Látható, hogy  $\varepsilon_H$  jelentősen nagyobb lehet, mint  $\varepsilon_M$ .



8. ábra. A hő- és mozgásdiffúziós tényezők viszonya

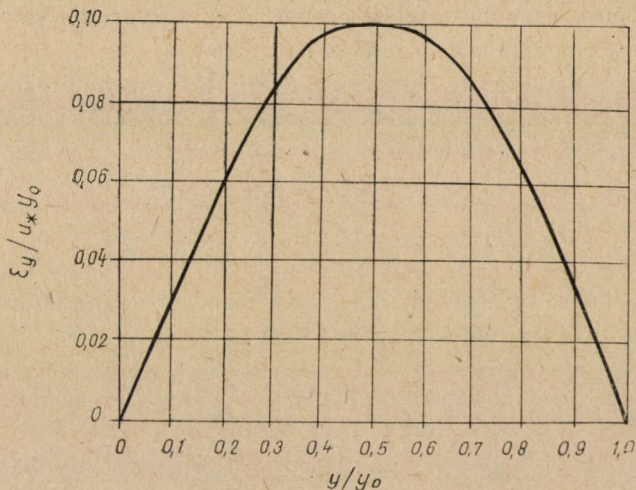
Valószínű, hogy a bemutatott dimenzió nélküli összefüggés nyílt szelvénybeli áramlásokra is érvényes, azaz a hődiffúziós tényező eltér a mozgásdiffúziótól. Sajnos, biztos összefüggések az anyagdiffúzió (oldatok) és a hődiffúzió között nincsenek, gyakorlati esetekben azonosságot szoktak feltételezni köztük. Ebben a vonatkozásban a szakirodalomban található különféle adatok összevetése valószínűleg eredményre vezetne.

Hasonlóképpen rá kell mutatni, hogy a síkbeli áramlásokra levezetett diffúziós tényező

$$\frac{D}{\alpha} = u_* y \left( 1 - \frac{y}{y_0} \right) \quad (86)$$

eloszlásfüggvényét (9. ábra) hasonló hiba terheli, azaz annak feltételezése, hogy a felszínhez közeledve a diffúziós tényező zérushoz tart, nem felel meg teljesen a valóságnak.





9. ábra. A mozgásdiffúziós tényező változása a síkbeli határrétegben

## 7. Diffúzió síkbeli áramlásban

A kétdimenziós, síkbeli (határréteg) áramlásra alkalmazták először a vízépítésben a diffúziós elméletet, kialakítva az ún. diffúziós lebegtetett hordalék-szállítási elméletet (amely jól alkalmazható víznél könnyebb lebegtetett anyagokra, kásajégre és légbuborékokra is).

A diffúzió és diszperzió elnevezés használatát tekintve nem teljesen egységes a szakirodalom.\* Diffúzión az anyag töménység gradiensirányú mozgását értjük, míg diszperzió esetén az előbbi fogalmazás szerinti diffúzió mellett a turbulens mozgás elsodró hatása is érvényesül, és a kettő együttes hatására bekövetkező konvektív anyagátvitelről van szó. A diszperziós tényező figyelembe veszi a keresztmetszeti sebességeloszlását és ezért a konvekciós tagban szereplő  $u$  sebességérték a szelvény középsebessége.

A diszperziós tényezőt tulajdonképpen azért vezetik be, hogy az egydimenziós differenciálegyenletben figyelembe lehessen venni kétdimenziós hatásokat.

TAYLOR [10] kimutatta, hogy a hosszirányú turbulens diffúzió  $x$  irányban elhanyagolható, összevetve azzal a hosszirányú diszperzióval, amelyet az  $\varepsilon_y$  (illetve  $D_1$ ) turbulens diffúzió okoz a  $du/dy$  sebességgradiens hatására.

A kétdimenziós áramlásban az  $\varepsilon_y$  turbulens diffúziós tényező (9. ábra)

$$\varepsilon_y = u_*^2 \left( 1 - \frac{y}{y_0} \right) \frac{du}{dy} \quad (87)$$

\* Sajnos, az általunk vizsgált jelenségre a magyar Természettudományi Lexikon sem tartalmaz megfelelő meghatározást.

értéke a felszínen és a határfelület mentén az univerzális sebesség-eloszlási törvény miatt zérus és középén maximuma van.

Ezzel az  $\varepsilon_y$  értékkel a lebegő anyageloszlás meghatározható, ha integráljuk az egyensúlyi egyenleteket a részecskék függőleges szállítására és a turbulens diffúzióra vonatkozóan.

$$wc = \varepsilon_y \frac{dc}{dy}, \quad (88)$$

ahol  $w$  az ülepedési (vagy emelkedési) sebesség. Ezt az összefüggést az elmúlt 30 év vizsgálatai igazolták.  $\varepsilon_y$  középértékét az

$$\varepsilon_y = 0,068 y_0 u_* \quad (89)$$

képlet adja.

ELDER [11] kétdimenziós permanens, egyenletes áramlásra a

$$D_c = \frac{0,40}{\kappa^3} y_0 u_x = 5,9 y_0 u_y \quad (90)$$

diszperziós tényezőt fejlesztette ki.

A diszperzióra és diffúzióra vonatkozó két egyenletet összevetve,  $D_c/\bar{\varepsilon}_y = 87$  értéket kapunk, ami azt mutatja, hogy a hosszirányú diszperziót a sebesség függőleges értelmű változásának hatása befolyásolja jelentősen.

Ha TAYLOR összefüggését alkalmazzuk síkbeli áramlásra,

$$D_L = 10,1 \frac{D}{2} u_* = 20,1 Ru_* \quad (91)$$

értéket kapunk, azaz összehasonlítva TAYLOR és ELDER diszperziós tényezőjét végtelen széles meder esetében, ahol az áramlás párhuzamos az oldalfalakkal,

$$D_c/D_L = 0,29, \quad (92)$$

ami azt jelenti, hogy az oldalfalak jelentősen növelik a diszperziós tényezőt!

Az állandó ülepedési sebességre és  $\varepsilon_y = D_y$  diffúziós tényezőre, valamint, ha  $D_y = D$ , a függély mentén állandó, a

$$-wc = D \frac{\partial c}{\partial y}$$

egyenlet

$$\frac{c}{c_a} = \exp \left[ - \frac{w(y-a)}{D} \right] \quad (93)$$

megoldást ad, ahol  $c_a$  az a viszonyító mélységben mért koncentráció.



### 8. Diffúzió és diszperzió nyílt medrekben

A vízfolyásokat érő anyagi és hőszennyezések levonulása, illetve permanens hatásuk esetén tökéletes elkeveredése nyilvánvalóan foglalkoztatja a vízépítő mérnököket. A háromdimenziós jelenség leírása elég bonyolult, ezért közelítő feltevéseket szokás tenni.

A későbbiekben ismertetett feltevéseinek helyességét FISHER [3, 8] laboratóriumi kísérletekkel és helyszíni észlelésekkel igazolta, ezért érdemes velük bővebben foglalkozni.

A természetes vízfolyásokban az eloszlás mindig háromdimenziós, és a sebesség és a töménység három irányban változhatik. A legtöbb természetes vízfolyásban, ahol a szélesség a mélységnél jelentősen nagyobb, az oldalsó sebesség-eloszlás hatása nem hagyható figyelmen kívül, tehát ELDER két-dimenziós összefüggése nem alkalmazható.

Mivel a gyorsabban áramló zónában az anyag gyorsabban áramlik lefelé, előre siet, az anyagfelhő szétterül. Ezt a keresztirányú keveredés igyekszik egyensúlyozni, mégis keresztirányban nagy töménység különbségek állhatnak elő. Mélység szerint, ahol a távolságok viszonylag kicsinyek, a keveredés sokkal hatékonyabb, bár itt is a felszín többnyire előresiet.

Az eltérés a nagy és kis sebességű zóna között oldalirányban általában nagyobb mint függőleges irányban. A turbulens diffúzió igyekszik eltüntetni a szelvénybeli különbségeket — irányulva mindig a gradiens irányában és arányosan vele —. Oldalirányban, ahol nagy távolságok vannak, sokkal nagyobb töménység-különbségek állhatnak elő. Ez egy nagyobb  $D/(ru_*)$  diszperziós tényezőre vezet, amelynek oka, hogy a hidraulikus sugár már nem jellemző mennyiség többé.

A folyamatot — bizonyos távolság után a beeresztéstől — a (78) egyenlet írja le a vízfolyás mentén:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}.$$

FISHER tehát azt javasolja, hogy nem függély szerint, hanem keresztirányban (vízszintesen) integráljunk. A számításhoz mérni kell a  $h$  mélységet és a sebesség-eloszlást. Az anyagmegmaradás törvényét felírva, azaz kifejezve az egyensúlyt az alvíz felé elszállított anyag és a szelvénybeli turbulens diffúzió között, csak a vízszintes értelmű,  $z$  irányú diffúziót véve figyelembe,

$$q' \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \varepsilon_z h \frac{\partial c'}{\partial z}, \quad (94)$$

ahol  $\varepsilon_z$  a mélységre átlagos diffúziós tényező oldalirányban;  $q'$  a mélység szerint integrált sebesség, azaz a fajlagos vízhozam eltérése az átlagostól

$$q' = \int_0^h u' dy, \quad (95)$$

ahol  $u' = u - \bar{u}$  az eltérés a kereszt-szelvénybeli középsebességtől,  $\bar{c}$  a kereszt-szelvénybeli közepes koncentráció, és  $c'$  az eltérés a középtől  $c' = c - \bar{c}$ .

Általánosságban  $\varepsilon_z$  és  $h$  a  $z$ -től függ egy szelvényen belül. A Fick-féle meghatározás szerint

$$D = - \frac{M}{A \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}} = - \frac{\int_A u' c' dA}{A \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}}, \quad (96)$$

ahol  $\dot{M}$  a tömegáram az  $A$  szelvényterületen át az egységnyi idő alatt. A két differenciálegyenlet összetevéséből  $\partial \bar{c} / \partial x$  értékének behelyettesítése után a diszperziós tényező

$$D = - \frac{1}{A} \int_0^b q' dz \int_0^z \frac{1}{\varepsilon_z h} dz \int_0^z q dz. \quad (97)$$

A megoldáshoz az  $A$ ,  $h$ ,  $q$  és  $q'$ -on kívül szükséges  $\varepsilon_z$  keresztirányú turbulens diffúziós tényező meghatározható ELDER és FISHER vizsgálatai szerint az

$$\varepsilon_z = 0,23 \, hu_* \quad (98)$$

képlettel és így már a  $D$  diszperziós tényező számítható.

A módszert laboratóriumban ellenőrizték, először sima falakkal és sima vagy érdes fenékekkel. Feltételezve, hogy az áramlás síkbeli,

$$D = 5,2 - 15,7 \, hu_* \quad (99)$$

eredményt kaptak. Ha az oldalfalakat érdesrel helyettesítették középen nagy és oldalt kis sebesség lett, az eltérés hatalmasan megnőtt

$$D = 210 - 640 \, Ru_* \quad (100)$$

értékűre, ahol a  $h$  mélységet az  $R$  hidraulikus sugárral helyettesítettük.

Hat mérésorozatot végeztek érdesített oldalnál  $2,1 \div 4,7$  cm mélységgel,  $19 \div 43$  cm szélességgel és  $25 \div 46$  cm/s sebességgel. A számított és mért értékek  $\pm 20\%$ -ra tértek el egymástól, ami a diffúziós tényező megmérésére vonatkozó mérési pontosságnak felel meg.  $D/(Ru_*)$  értéke  $190 \div 640$  volt, mint már említettük.

A helyszíni vizsgálatokat egy 22 m széles és 1,8 m mély vízfolyáson végezték, ahol a legmélyebb ponton adagoltak festéket. A tipikus kereszt-szelvény durván háromszög alakú volt. A vízhozam  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  körül volt. Az előre jelzett diszperziós tényező  $7,6 \text{ m}^2/\text{s}$ , a mért érték  $6,3$  és  $8,1 \text{ m}^2/\text{s}$  között változott. Az egyezés meglepően jó volt.

Az egyenlet alkalmazását FISHER  $b/d > 6$  tartományhoz köti, továbbá ahhoz, hogy jelentős oldalirányú változások legyenek. A képlet használata megköveteli a  $b$  szélesség, a  $d(z)$  mélység (teljes kereszt-szelvény), az  $u'$  szelvénybeli sebességeloszlás és az  $u_*$  csúsztató sebesség ismeretét.

Az  $u_*$  csúsztató sebesség értékére érdes felületeknél közelítőleg az

$$u_* = U \sqrt{\frac{f}{8}} = \frac{1}{n} R^{1/6} \sqrt{RI} \sqrt{\frac{f}{8}} = \sqrt{gRI} \quad (101)$$

képletet szokták alkalmazni. Ha sima falra és pozitív és negatív nyomás-gradiensre (azaz változó vízmozgásra) is ki akarjuk terjeszteni az összefüggést, az

$$u_* = \frac{U}{5,6 \log \left( \frac{F_2}{F_1} \right) \left( \frac{U \delta_x}{\nu} \right) + 4,5} \quad (102)$$

képlethez jutunk, ahol  $\delta_x$  a határréteg „eltolási vastagság”,  $F_2$  és  $F_1$  az ún. „fal-törvényből” következő függvényértékek.

Fontos követelmény, hogy meghatározzuk a beadagolástól számított hosszát vagy időt, amelytől kezdve az egydimenziós diffúzióegyenlet leírja a diffúzió jelenségét.

Dimenzióanalízis mutatja, hogy az idő

$$T = f \left( \frac{l^2}{\varepsilon} \right), \quad (103)$$

azaz a jellemző  $l$  méret négyzetének és a diffúziós tényezőnek függvénye, mivel a jellemző mennyiségek egy kereszt-szelvényre vonatkoznak.  $T$  egy Euler-féle leírásban szereplő időméret. Ugyanígy bevezethető egy Lagrange-féle leírásban szereplő időméret is, amely az a  $T$  idő, amely szükséges, hogy a nyomjelző részecskék mozgása már ne függjön össze a kezdeti sebességükkel.

FISHER szerint a két időméret közti összefüggés logaritmikus sebesség-eloszlást és lineáris csúsztató feszültségeloszlást feltételezve:

$$T^* = 14,8 T. \quad (104)$$

A konvektív periódus hossza,

$$T' = 0,30 \frac{l^2}{Ru_*} \quad (105)$$

és így az Euler-féle idő-méret:

$$T' = \frac{l^2}{0,23 Ru_*} \quad (106)$$

A szakasz hossza, amelyen túl már az egydimenziós egyenlet érvényes

$$L = 1,8 \frac{l^2 \bar{u}}{R u_*}, \quad (107)$$

és ez a konvektív periódus hossza hatszorosának felel meg.

A Lagrange-féle időléptékből következik, hogy a diszperziós tényező közelítő értéke

$$D = 0,30 \frac{l^2 \bar{u}'}{Ru_*}, \quad (108)$$

ahol az  $l$  jellemző hossz a legnagyobb felszíni sebesség távolsága a távolabb levő partszélhez.

Bevezetve az idő  $t' = t/T$  dimenzió nélküli mérőszámát a diffúziós jelenségre a következőt találták:

- $t' = 0 \div 3$  konvekciós periódus, a Taylor-elmélet nem alkalmazható,
- $t' = 3 \div 6$  átmeneti periódus, az idő-koncentrációs görbék variációs tényezője közelítőleg lineárisan nő, de az egydimenziós diffúzió nem alkalmazható,
- $t' > 6$  Taylor-periódus, egydimenziós diffúziós egyenlet alkalmazható.

A konvektív perióduson belül egy élesen határolt felhő halad előre, a töménység hirtelen változik a felhő alvízi végénél, de lassan a felvízi végén.

A diffúziós periódusban a felhő az egydimenziós differenciálegyenlet szerint terül szét, valószínűleg Gauss-féle eloszlást követve. A szétterülést teljesen a középsebesség és az egydimenziós diffúziós (azaz diszperziós) tényező határozza meg.

Bár ez a tényező folyószakaszonként változik, előre becsülhető a megadott képlettel, vagy a helyszíni sebességmérés adataiból számítható. FISHER a diszperziós tényező egyenletét számítógéppel javasolja megoldani legalább 10 függvény adatai alapján.

FISHER (108) jelű közelítő képlete [8] ellentmondásban van ELDER képletével [90], mivel előbbi szerint  $D$  fordítva arányos a hidraulikus sugárral és a csúsztató sebességgel.

A diffúziós folyamatok leírásában alapvető szerepet betöltő diffúziós és diszperziós tényező meghatározásában tehát eléggé eltérő vélemények uralkodnak. A jövő feladata, hogy a szabálytalan medrű vízfolyások bonyolult áramlási viszonyaira módszert dolgozzon ki. FISHER eljárása ehhez jó kezdeményezésnek látszik.

A másik nehézség a konvekciós folyamat figyelembevétele. Ennek lerövidítése esetleg vízépitési feladat, amelyet a beeresztési műtárgy (diffúzor) megfelelő kialakításával, illetve a beeresztés helyén megfelelő áramlási viszonyok biztosításával lehet elérni.

### 9. Diffúzió különböző tulajdonságú rétegek között

A teljesség kedvéért meg kell emlékezni a különböző tulajdonságú áramló rétegek közti diffúzióról is, ami elsősorban a tengerparti országokban fontos jelenség, és az édes víz és sós víz keveredési folyamatait jellemzi. Pillanatnyilag ez a kérdés nem látszik túl érdekesnek magyar viszonyok között, mégis előfordulhat, hogy szembekerülünk vele, éspedig abban az esetben, ha a beeresztés helyén nem biztosítunk megfelelő keveredést és a bebocsátott réteg a felszínen (pl. hűtőtorokban a melegvíz) vagy a mélyben (pl. szennyvíziszap) csóvaként vagy rétegenként áramik tova és a sűrűség különbség folytán nem kíván a teljes víztömeggel elkeveredni. Kedvezőtlenül kialakított hűtőtavakban ez az ún. termális rövidzárlathoz vezethet, amikor a tónak csak kis része vesz részt a hűtésben, szennyvízbevezetéseknel jelentősen lelassíthatja az öntisztulást vagy kellemetlen lerakódásokhoz vezethet.

Bizonyos mértékig ez a probléma jelentkezik mellékvízfolyások betorkollásánál, amikor a betorkolló folyadék esetleg teljesen más színű csóvaként vonul végig (ez a jelenség jól megfigyelhető a Tiszában a Sajó torkolata alatt egyes esetekben).

Az elméleti megfontolások mellőzésével felsorolunk két összefüggést a különböző sűrűségű rétegek határán bekövetkező mozgás és anyagdiffúziós tényező arányának megbecsülésére. ELLISON és THURNER [12] szerint:

$$\frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_M} = \frac{1,4 [1 - (R_f R_{fc})]}{(1 - R_f)^2} \quad (109)$$

ahol  $R_f = Ri(z) (\varepsilon_A/\varepsilon_M)$ , az ún. fluxus Richardson-féle szám, és  $R_{fc}$  körülbelül 0,15. A Richardson-féle szám a rétegződés állékonyságára jellemző dimenzió



nélküli szám

$$\text{Ri}(z) = \frac{g}{\bar{\rho}(z)} \cdot \frac{\frac{d\bar{\rho}}{dz}}{\left(\frac{du}{dz}\right)^2} \quad (110)$$

ahol  $\rho(z)$  a sűrűség mélység szerinti változását leíró függvény,  $u$  pedig a sebesség, amely mélység szerint változik.

MUNK és ANDERSON az

$$\frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_M} = \frac{[1 + 10 \text{ Ri}(z)]^{1/2}}{[1 + 3,33 \text{ Ri}(z)]^{3/2}} \quad (111)$$

összefüggést adják meg, amely valamivel enyhébben változtatja  $\varepsilon_A/\varepsilon_M$  értékét az  $\text{Ri}(z)$  függvényében. Erősen rétegzett áramlásban  $\varepsilon_A/\varepsilon_M$  értéke igen csekély.

Ha két különböző tulajdonságú folyadék találkozik, például, ha édesvízű folyó ömlik sós tengerbe, a szennyezett — jelen esetben sós — víz sűrűségkülönbségénél fogva behatol egy ún. sós ék blokkjában az édesvíz alá és egy keveredési folyamat játszódik le. Ezt a jelenséget HARLEMAN és IPPEN [3, 4] vizsgálta. Állandó keresztmetszvényű mederre a

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D'_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) \quad (112)$$

összefüggést írták fel, ahol  $s$  az átlagos sótartalom és  $u$  az átlagos sebesség, és ezek csak a távolság és idő függvényei.  $D'_x$  a hosszirányú diszperziós tényező, amely magában foglalja a turbulens diffúzió és a sűrűség különbségek következtében előálló belső áramlások hatását. Az egyenlet láthatóan teljesen hasonló felépítésű, mint a [15], csak  $c$  helyett az  $s$  sótartalom szerepel benne. A folyadék sebessége az árapály  $u(x, t)$  sebességéből és a vízfolyás  $U$  sebességéből tevődik össze (vagy két vízfolyás esetén a két vízfolyás sebességéből). Így

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u(x, t) \frac{\partial s}{\partial x} - U \frac{\partial s}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D'_x \frac{\partial s}{\partial x} \right), \quad (113)$$

ha az  $x$  irányt a beömlés helyétől lefelé haladva számítjuk pozitívnak.

Azt találták, hogy a  $D'_x$  hosszirányú diszperziós tényező fordítva arányos  $x$ -szel a

$$D'_x = \frac{D'_0 B}{x + B} \quad (114)$$

összefüggés szerint, ahol  $x = 0$  helyen, a betorkollásnál  $D'_x = D'_0$ , miközben ha  $x = -B$ , a tenger felé  $D'_x \rightarrow \infty$  és nagy távolságra lefelé a folyóban  $D'_x \rightarrow 0$ . Az egyenletet különféle feltételezésekkel oldották meg. A diffúziós tényezőre a

$$\frac{D'_0}{uB} = f\left(\frac{P \text{Fr}_0^2}{Qt}, \frac{a}{h}\right) \quad (115)$$

összefüggést találták, ahol  $P$  az ún. dagály prizma, a dagály során belépő víztömeg,  $\text{Fr}_0 = u_0^2/gh$  a dagály Froude-száma, ahol  $u_0$  a legnagyobb dagálysebesség és  $h$  a középmedélység,  $Q$  a vízfolyás hozama és  $T$  a dagály periódusideje,  $a$  pedig a dagály amplitúdója. A diffúziós tényező a  $P \text{Fr}_0^2/(QT)$  viszonyszám növekedésével és a  $Q/h$  viszonyszám növekedésével egyaránt nő. HARLEMAN és társai a venezuelai Maracaibo öbölre  $0,4 \div 6$  közötti  $D_0/uB$  értékeket határoztak meg  $a/h = 0,02 \div 0,2$  és  $Pt \text{Fr}_0^2/(QT) = 0,02 \div 0,1$  tartományban laboratóriumi és helyszíni vizsgálatok révén.

A tengerparti és folyótorkolati diffúziós jelenségek ismertetése meghaladná kereteinket, ezért csupán utalunk IPPEN könyvére [4], amelyben számos hivatkozás is található a különféle forrásmunkákra.

A hűtőtóba vízszintesen betorkolló melegvízsugár diffúzióját laboratóriumban HAYASHI T. [3] vizsgálta.  $\text{Ri} = 1$  Richardson-szám értékre azt találta, hogy a sugár

$$r = 2\sqrt{(Q)\alpha h\pi t \cos \omega} \quad (116)$$

függvény szerint terül szét, amely köröket ír le, amelyek a beömlés helyén érintik a sugárra merőlegesen felvett  $x$ -tengelyt. Így a felszínen az izotermális vonalakat

$$(x - C)^2 + y^2 = C^2$$

egyenletű körök írják le. Az  $\alpha$  és  $C$  tényező a sebesség és hőmérséklet eloszlásától függ.

HAYASHI kísérletei azt mutatták, hogy az összefüggés annál pontosabb, mennél nagyobb a hőfokkülönbség a betorkoló víz és a hűtőtó hőfoka között.

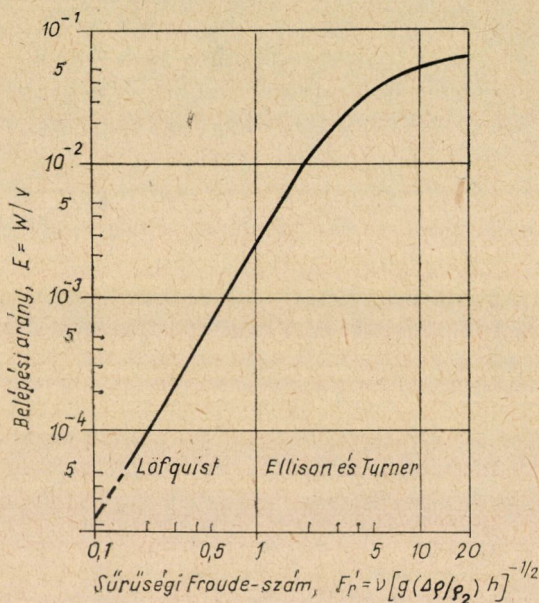
A hűtőtavakban kialakuló rétegzett áramlással, a felszíni meleg réteg előrenyomulásával, illetve a mélység szerinti sebességeloszlással MAJEWSKI W., illetve LEAN, G. H. és WHILLOCK, A. Z. foglalkozott [2]. Ha a felszíni réteg sebessége egy értéket meghalad, az alsóbb rétegből ragad magával. Az elragadás mértéke a nehezebb folyadék térfogata, amelyet a határfelület egységnyi területéről, egységnyi idő alatt elvisz, azaz nem más, mint a függőleges sebesség-összetevő a határfelületen.

ELLISON és TURNER kimutatta, hogy kétdimenziós neutrális sugárban turbulens mozgásnál a sugár szélein a  $w/v$  viszony állandó és 0,075-tel egyenlő. Kis sűrűség különbségeknél elég nagy Reynolds-számnál, az ún. belépési

tényező csak a sűrűségi Froude-szám (61) függvénye. A sűrűségi Froude-szám értéke

$$\text{Fr} = \frac{v}{\sqrt{g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} h}}$$

képlettel számítható, ahol  $\rho_1$  és  $\rho_2$  a különböző rétegek sűrűsége.  $E = w/v$  gyorsan csökken, ha  $\text{Fr}$  csökken és elhanyagolható értékű lesz, ha  $\text{Fr} < 1,2$ .



10. ábra. A belépési tényező és a sűrűségi Froude-szám összefüggése felszíni melegvíz-áramlás-nál

LÖFQUIST mérései azt mutatták ki, hogy belépés van egészen kis sűrűségi Froude-számnál is. A legalacsonyabb Reynolds-szám 2000 és a legalacsonyabb sűrűségi Froude-szám, amelynél már nincs belépés, kb. 0,1 volt.

A mérési adatok alapján LEAN és WHILLOCK által szerkeszthető összefüggést [2] a 10. ábrán mutatjuk be. Megjegyezzük, hogy kis  $E = w/v$  belépés számoknál a pontok erősen szórtak.

A felszíni réteg vastagsága elsősorban a beeresztés körülményeitől (ami hangsúlyozza a jó diffúzorok fontosságát!) és az alsó rétegtől való elragadástól függ.

Kétdimenziós felszíni permanens melegáramlást tételezve fel egy álló hidegvíz fölött, ha a belépési sebesség nagyobb, mint a kritikus, a melegvíz

az alsóbb rétegből ragad magával vízhozamot, a réteg vastagsága és hozama nő, ezzel szemben hőfoka és sebessége csökken. A csökkenő sebesség következtében az elragadás is csökken és bizonyos távolság után már a mélysége szinte alig változik. A két réteg felületén a turbulencia lecsillapodott és ezért nincs jelentős keveredés sem.

Persze ez az ideális állapot valóságban teljesen nem áll elő, mert mindig van egy enyhe visszaáramlás és ez közvetlenül a felszíni réteg alatt jöhet létre, amely viszont a fenék közelében a felszíni melegvízáramlással azonos irányú enyhe áramot hoz létre.

A felszíni réteg alakulásának leírására bevezethető a helytől függő  $v(x)$  középsebesség,  $h(x)$  vastagság és  $\Delta(x)g$  sűrűség és ezek között

$$\begin{aligned}vh &= \int_0^h u \cdot dy, \\v^2 h &= \int_0^h u^2 \cdot dy, \\A \int_0^h \left( \frac{\varrho_a - \varrho}{\varrho_a} \right) gu \cdot dy &= vh \Delta\end{aligned}\quad (117)$$

összefüggések állnak fenn, ahol  $u(x, y)$  a sebesség az  $x$  irányban,  $\varrho_a$  az alsó réteg sűrűsége és az integrálás az  $y = h$  felszíntől az  $y = 0$  fenékig terjed.

Az anyagmegmaradás és a belépés összefüggései írhatók

$$vh \Delta = A = \text{const} \quad (118)$$

$$\frac{1}{v} \frac{d}{dx} (vh) = E \quad (119)$$

ahol  $E$  az  $\text{Fr}$  Froude-szám függvénye,  $v^3/A$ .

Az egységnyi szélességű áramlás impulzusa és a nyomás összege a sűrűséggel osztva

$$M = v^2 h + \frac{1}{2} \int_0^h 2g \frac{\varrho_a - \varrho}{\varrho_a} y dy. \quad (120)$$

Ha a fenéken és az oldalakon a súrlódás elhanyagolható,  $M$  állandó, és adott vízhozam és beeresztett impulzus esetén a felszíni réteg folyamatos fejlődése leírható

$$h \text{Fr}^{2/3} \left( 1 + \frac{1}{2F} \int_0^h 2g \frac{\varrho_a - \varrho}{\varrho_a} y dy \right) = \frac{M}{A^{2/3}} \quad (121)$$

egyenlettel, amely összefüggést ad a felszíni réteg Froude-száma és mélysége között, adott kezdeti impulzus és vízhozam esetén.

Ez a kis ismertető sokkal inkább a rétegzett áramlások, mint a diffúzió tárgykörébe vágott, de célszerű volt annak bemutatására, hogy az egyedi áramlási viszonyok figyelembevétele feltétlenül szükséges a diffúziós jelenségek leírásához, hiszen egészen különleges áramlási viszonyok is kialakulhatnak.

### 10. Diffúzió és diszperzió hidraulikai kismintákon

A diffúziós feladatok megoldásában gyakran kell modellkísérlethez folyamodni. Ha folyami vagy tengerparti modellt készítünk, legtöbbször kénytelenek vagyunk torzított modellt építeni, és ebben az esetben a tökéletes dinamikai és anyagátadási hasonlóság biztosítása nehézségekbe ütközik. A felületi érdesség változtatásával többnyire azonosíthatjuk az áramlási viszonyokat, de ez nem jelenti feltétlenül a diszperziós folyamatok hasonlóságának biztosítását is!

A következőkben a következő viszonyító mennyiségeket alkalmazzuk, amelyeket állandónak tételezünk fel.

$c_0$  a legnagyobb töménység a beeresztés helyén;

$L_0$  jellemző hossz méret;

$u_0$  jellemző sebesség, pl. a legnagyobb sebesség a beeresztés helyén;

$D_0$  a hosszirányú diszperziós tényező a beeresztés helyén.

Így a következő dimenzió nélküli relatív mennyiségeink vannak:

$$\bar{c} = \frac{c}{c_0}; \quad \bar{x} = \frac{x}{L_0}; \quad \bar{u} = \frac{u}{u_0}; \quad \bar{t} = \frac{u_0 t}{L_0};$$

$$\bar{A} = \frac{A}{L_0^2}; \quad \bar{D}_x = \frac{D_x}{D_0}.$$

A relatív értékeket tartalmazó anyagmegmaradási differenciálegyenlet, ha a vizsgált szakaszon anyag sem el nem tűnik, sem nem keletkezik:

$$\frac{u_0 L_0}{D_0} \left( \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} \right) = \frac{1}{\bar{A}} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left( \bar{A} \bar{D}_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} \right). \quad (122)$$

Az  $u_0 L_0 / D_0$  dimenzió nélküli csoportot diszperziós Reynolds-számnak nevezzük.

Nyilvánvaló, hogy hasonlóság valósággal csak akkor lehet, ha a diszperziós Reynolds-szám valóságban és a modellen számszerűen megegyezik. Ez akkor áll fenn, ha

$$\frac{\lambda_u \lambda_L}{\lambda_D} = 1, \quad (123)$$

ahol  $\lambda$  az index szerinti mennyiség méretszorzója.



Folyami (és műtárgy-) modelleknél a tehetetlenségi és nehézségi erők működése esetén a mechanikai hasonlóságot a Froude-szám azonossága biztosítja. Így a sebességek méretszorzója

$$\lambda_u = \lambda_y^{1/2}, \quad (124)$$

ahol  $\lambda_y$  a függőleges méretszorzó és a továbbiakban  $\lambda_L$  a vízszintes.

Kérdés most már, hogy mi a diszperziós tényező méretszorzója és ebből következően mi a  $\lambda_u \lambda_R / \lambda_D = 1$  összefüggés feltétele.

Ha a  $D_x = ARu_*$  összefüggést fogadjuk el, akkor

$$\lambda_D = \lambda_R \lambda_{u*} \cong \lambda_y \lambda_u,$$

és ebből következően a

$$\frac{\lambda_y^{1/2} \lambda_L}{\lambda_y \lambda_y^{1/2}} = 1$$

összefüggés csak  $\lambda_L = \lambda_y$  esetében, azaz torzítatlan modelleknél áll fenn!

Ha a  $D = 0,3 u^2 l^2 / Ru_*$  összefüggésből indulunk ki [8],

$$\lambda_D = \frac{\lambda_u^2 \lambda_L^2}{\lambda_y \lambda_u} = \frac{\lambda_u \lambda_L^2}{\lambda_y} = \frac{\lambda_y^{1/2} \lambda_L^2}{\lambda_y} = \frac{\lambda_L^2}{\lambda_y^{1/2}},$$

és ezért

$$\frac{\lambda_y^{1/2} \lambda_L}{\lambda_L^2} \cdot \lambda_y^{1/2} = \frac{\lambda_y \lambda_L}{\lambda_L^2} = 1$$

feltétel megint csak akkor teljesül, ha  $\lambda_L = \lambda_y$ , azaz a modell nem torzított!

Ebből az a sajnálatos következtetés vonható le, hogy diszperziós jelenségekre mennyiségileg következtetni torzított modellen nem lehet!

## 11. Következtetések

A zárt és nyílt szelvényben mozgó vízzel kapcsolatos diffúziós és diszperziós jelenségek feltárása még csak kezdeti állapotban van, azonban egyes egyszerűbb esetek számítással az ismeretek mai fokán is megoldhatók. Bonyolultabb esetekben a kísérletek nélkülözhetetlenek. Sajnálatos nehézséget jelent, hogy a kísérletekre torzított modellek nem alkalmasak.

Nyilvánvaló, hogy az elméleti összefüggések adta és a valóságban bekövetkező jelenségek eltérésében a feltételezett ideális állapotok és a valóság közti hasonlóság mértéke a döntő, így szabályos szelvényekben, permanens

áramlásnál, egyenletes érdességnél, szabályos sebesség-eloszlásnál, egyenletes érdességnél lényegesen jobb eredmények várhatók, mint természetes vízfolyásban. A természetes vízfolyások diffúziós tulajdonságainak jellemzésére a helyszíni diffúziós tényező-mérés látszik legmegbízhatóbbnak. Ennek nehézségei esetében megelégedhetünk a hidraulikai jellemzők mérésével is, amelyekből FISHER módszere [3, 8] alapján számítható a hosszirányú diszperziós tényező. Ez azután már behelyettesíthető az egydimenziós (vonalas) diffúzióegyenletbe, mivel a diszperziós tényező figyelembe veszi az oldalirányú diffúziós hatásokat is. (A dimenzió nélküli diszperziós tényező értéke,  $D/ru_*$  egyenes szakaszon  $300 \div 600$  nagyságrendű is lehet. Az egydimenziós differenciálegyenlet a határfeltételnek megfelelően analitikusan vagy a véges differenciák módszerével számítógép segítségével vagy más módon oldható meg.

A két fő alapeset: a permanens szennyezés beeresztés és a lökésszerű szennyvízhullám bizonyos egyszerűsített feltételezésekkel megoldott kérdés. A lökésszerű szennyvízhullámra alkalmazható az ún. árhullámkép-áthelyezés módszere vagy a levonulási elmélet valószínűségi összefüggése. (Utóbbi a folyadékrészecskék diffúziós elméletének tekinthető, ahol a diszperziós tényezőt a meder sajátságai szabják meg.)

Fontos figyelembe venni, hogy a beeresztés után mindig van egy konvektív szakasz, ahol az egydimenziós egyenlet még nem érvényes. Ennek hosszát FISHER  $L = 1,8(l^2/R) (u/u_*)$  értékűre becsüli.

A diszperziós tényező durva becslésére szintén FISHER összefüggése használható, amely szerint  $D = 0,3\bar{u}^2 l^2/(Ru_*)$ .

Természetes mederben a másodlagos keresztáramlások az így kapott tényezőt még meg is növelik, így az egyenes szakaszra megállapított érték valószínűleg csak alsó határ.

A mesterséges szennyezésbeeresztések diffúziós viszonyai többnyire a víz alatti sugár hidraulika alapján tárgyalhatók [13]. A tanulmányban mind kör-, mind négyszögszelvényre közlünk megoldást vízzel azonos fajsúlyú és nála könnyebb sugár esetére.

A zárt szelvénybeli diffúziónál fontos ismernünk azt a hosszt, amelynél a beeresztett sugár eléri az oldalfalakat, illetve amitől kezdve a szelvény teljesen elkevertnek tekinthető. Erre vonatkozóan közelítően elfogadható az a feltevés [9], hogy az ún. magsugár hossza

$$x_1 = 0,15 \frac{r_0^2 u}{4D},$$

míg a teljes elkeveredési táv durva becslésként

$$L = d \left( \frac{9,25}{\sqrt{f}} + 10 \right).$$

A diffúziós és diszperziós tényezők általában anyagra vonatkoznak, jobb híján felhasználhatók hődiffúziós számításoknál is.

Bizonyos esetekben a keveredés sűrűségkülönbségi okokból nem megy végbe, rétegzett áramlás jön létre. Ekkor a diffúziós folyamat a két réteg határfelületén áll elő, és a diffúzió folyásirányú lefolyását más jellegű összefüggések írják le.

Az összetett folyadék-áramlás hidraulikai összefüggéseinek alkalmazása a tisztulási folyamatok leírására számos új gyakorlati eredménnyel kecsegtet. A vízépítő mérnökök hidraulikai és a vegyészmérnökök diffúziós ismereteinek egyesítése a víztisztítás és vízminőség szabályozás területén a jövő kutatásaiban sokkal nagyobb fontosságú lesz. A tanulmány ennek magyarországi megvalósításához kísérelt meg első lépést tenni.

\*

A szerző ezen a helyen is köszönetét fejezi ki *dr. Torskild Carstens* trondheimi docensnek a gondolatébresztő vitákért, valamint *dr. Bogárdi János* és *dr. Salamin Pál* egyetemi tanároknak a lektorálás során adott értékes tanácsaikért.

#### IRODALOM

1. STAROSOLSKY Ö.: A folyadék- hő és anyagmozgás alapösszefüggései (Tanulmányúti jelentés).
2. International Association for Hydraulic Research: Outfall of Waste Waters Including the Effect of Density Differences. *Proceedings of XI. Congress*. Vol. II., Leningrad 1965.
3. International Association for Hydraulic Research: Microturbulent Diffusion and Dispersion *Proceedings of XII. Congress*. Vol. 4., Fort Collins 1967.
4. IPPEN, A. T.: Estuary and Coastline Hydrodynamics. Engineering Societies Monographs. McGraw-Hill, New York 1966.
5. CARSTENS, T.: Forelesninger i diffusjon. (Manuscript) Norsk Tekniske Høgskola, Institutt for Vassbygging, Trondheim 1968.
6. CRANK, I.: The Mathematics of Diffusion. Clarendon Press, Oxford 1956.
7. IPPEN, A. T.: Turbulence and Diffusion in Hydraulic Engineering. *Proceedings of XII. Congress of IAHR*. Vol. 5., Fort Collins 1967.
8. FISHER, H. B.: The Mechanics of Dispersion in Natural Streams. *Proceedings of the ASCE*. Hydraulic Division. HY6., Nov. 1967.
9. HOLLEY, E. R.—SCHUSTER, I. C.: Radial Diffusion in Turbulent Pipe Flow. *Proceedings of XII. Congress of IAHR*, Vol. 4., Fort Collins 1967.
10. TAYLOR, G. I.: The Dispersion of Matter in Turbulent Flow through a Pipe. *Proc. Royal Society of London* 223 (1954).
11. ELDER, J. W.: The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow. *Journal of Fluid Mech.* 5. (1959).
12. ELLISON, T. H.—TURNER, I. S.: Mixing in Dense Fluid in a Turbulent Pipe Flow. *Journal of Fluid Mech.* 8. (1960).
13. ROUSE, H.—YIH, C. S.—HUMPHREYS: Gravitational Convection from a Boundary Source. *Tellus*, 4, 3, 1952.
14. KAYS, W. M.: Convective Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill, New York 1966.
15. STAROSOLSKY, Ö.: Gondolatok a diffúziós és jégjelenségek kisminta-kísérleteiről. *Hidrologiai Közlöny*, Budapest 1970/1.

**Diffusion and Dispersion in Hydraulic Engineering.** An overall survey on the applicability of the theory of turbulent diffusion and dispersion in the hydraulic engineering is presented. The difficulties connected with the disposal and admixture of sewages draw the attention to the phenomenon of the turbulent mixing, diffusion and dispersion. The phenomena of mixing up the solved material and of heat are described with the aid of relationships of wholly identical character which, in certain examples, can be mathematically solved also in dependence of the variable initial and boundary conditions. The governing equations of the conservation of matter and those of the diffusion are also the bases for the description of mingling taking place in water courses. However, for solving these governing equations the coefficients of turbulent diffusion or the longitudinal dispersion which depend up on the properties of the flow and water course bed should be known. In these processes, taking place in water courses, the transverse variation of the concentration is also significant. On the boundary surfaces of the layers of different properties diffusion takes place as well. The distorted models applied in the hydraulic engineering seem to be unsuitable for the establishment of numerical relationships, because the processes will give a true picture of the reality only in the case of an undistorted model.

**Diffusion und Dispersion in der Wasserbauhydraulik.** Der Verfasser gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Anwendungsmöglichkeit der Theorie der turbulenten Diffusion und Dispersion im Bereich des Wasserbaus. Es sind die Schwierigkeiten der Zuleitung und Vermischung des Abwassers, die die Aufmerksamkeit auf die Erscheinung der turbulenten Vermischung der Diffusion und Dispersion richten. Die Vermischungsvorgänge des gelösten Stoffes und der Wärme werden durch Beziehungen von völlig identischem Charakter beschrieben, die in gewissen Fällen in Abhängigkeit der veränderlichen Anfangs- und Grenzbedingungen auch mathematisch gelöst werden können. Die Grundgleichungen der Erhaltung der Masse und der Diffusion bilden auch die Gründe der Beschreibung der in den Wasserläufen auftretenden Vermischung, zur Lösung dieser Grundgleichungen müssen aber die Koeffizienten der turbulenten Diffusion oder dieselbe der Dispersion in der Längsrichtung bekannt werden, deren Werte von den Eigenschaften der Strömung und des Flußbettes abhängen. In den im Wasserlauf stattfindenden Vorgängen ist auch die Änderung der Konzentration in der Querrichtung von großer Bedeutung. An der Grenze der Schichten von verschiedenen Eigenschaften findet auch eine Diffusion statt. Die in der Wasserbauhydraulik üblichen verzerrten Modelle zeigen sich zur Ermittlung von numerischen Beziehungen als ungeeignet, da der Vorgang nur im Falle von einem unverzerrten Modell ein wahrhaftiges Bild liefert.

# A TÖRÉSMECHANIKA FEJLŐDÉSE ÉS JELENLEGI FŐBB IRÁNYAI

CZOBOLY ERNŐ\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1969. november 25-én]

A közlemény áttekintő képet ad a törésmechanika alapfogalmairól, fontosabb eredményeiről és fejlődési irányáról. Röviden foglalkozik a ridegtörés fogalmával és bemutatja azokat a gondolatokat, amelyek közrejátszottak a törésmechanika kifejlesztésénél. Az alapvető összefüggések és alapfogalmak ismertetése után tárgyalja a legfontosabb vizsgálati módszereket, amelyek alkalmasak a törési jellemzők meghatározására. Ezzel kapcsolatban kitér a próbatestek méreteinek fontosságára és segítséget nyújt ezek helyes megválasztásához. Végül röviden összefoglalja azokat a tématerületeket, amelyek a jelenlegi kutatómunka fontosabb középpontjait alkotják.

## I. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben egyre gyakrabban figyeltek meg olyan káreseteket, amelyeknél a képlékenynek hitt anyagból készült szerkezetek alakváltozás nélkül törtek el. Ezeket a töréseket a plasztikus deformációval együtt járó szívós töréstől és az ismétlődő igénybevétel hatására bekövetkező fáradt töréstől való megkülönböztetés céljából ridegtörésnek nevezik.

A ridegtörés jelenségét tehát elsősorban a makroszkópos, képlékeny deformáció hiánya jellemzi. Jellegzetes ezenkívül a töretfelület iránya, amely merőleges a maximális húzófeszültség irányára. Magát a töretfelületet tekintve az elhatárolás nem ilyen egyértelmű. Fémfizikai ismereteink szerint ugyanis a *ridegtörés* (brittle fracture) a *hasadással* (cleavage) jár együtt, amely esetben a töretfelület kristályos. Fraktográfiai és röntgen vizsgálatok [1] viszont azt bizonyítják, hogy polikristályos, technikai anyagoknál igen ritka a tiszta hasadás, sokkal inkább fordul elő a hasadás és a nyírt törés valamilyen keveréke. Adott körülmények között a törés teljesen nyírt jellegű is lehet, vagyis mikroszkópikus szemszögből tekintve képlékeny természetű. A képlékeny alakváltozás azonban csak igen vékony rétegre, esetleg csak néhány rácstávolságnyi anyagra terjed ki, ami a törés makroszkópos jellegét nem befolyásolja lényegesen. Ezért a törésmechanikában nem tesznek éles különbséget a törés mechanizmusát illetően, hanem elsősorban a makroszkópos összefüggéseket vizsgálják. Ez a megoldás kényszermegoldás, amely a valóságos

\* Dr. CZOBOLY ERNŐ, Budapest II. Batai utca 5



esetek bonyolultságából és jelenlegi tudásunk szintjéből adódik. A fizikai jelenségek keveredése azonban kétségtelenül hozzájárul azokhoz a nehézségekhez, amelyekkel a törésmechanika tudományának ma meg kell küzdenie.

További problémát okoz, hogy maga a törés összetett fizikai folyamat. GRIFFITH [2] ismerte fel először, hogy a töréshez előbb egy repedés *létrejött*e, majd annak a keresztmetszetben való *terjedése* szükséges. A későbbiekben nyilvánvalóvá vált, hogy a repedés terjedése lehet lassú *stabilis* vagy *instabilis*, azaz robbanásszerű. E jelenségek bekövetkezése mind más-más, de ma még alig tisztázott feltételekhez kötődik, ami a törésmechanikai elképzeléseknél sok zavar okozója.

Nehezíti a kísérletek kiértékelését és így a valóságot híven tükröző kép kialakítását a hőmérséklet és deformációsebesség hatása is. Ismeretes, hogy mindkét tényező jelentős mértékben befolyásolja az anyagok viselkedését mind a képlékeny deformáció, mind a törési folyamatok szempontjából. Hatásukat számtalan kísérlettel, világsszerte igyekeznek pontosan meghatározni. Nyitott kérdés azonban még — bár erre vonatkozó vizsgálatok is szép számmal akadnak — hogy milyen helyi deformáció-sebességek és hőmérsékletek mérvadók a repedés terjedése közben a repedés csúcánál, továbbá hogyan hatnak ezek egymásra és így az egész törési folyamatra. Mind a helyi sebességviszonyok és hőmérsékletek, mind a repedés csúcsa körül kialakuló feszültségtér elsősorban a repedés méreteitől, továbbá ennek a próbatest összméreteihez vett arányától és természetesen a teljes próbatestre ható átlagterheléstől függ. Az utóbbi rendszerint az egyik vizsgálati paraméter, amelyet előre meghatározott módon változtatnak a vizsgálat során. A repedés és az azt körülölelő képlékeny zóna méreteit a vizsgálati körülmények (hőmérséklet, anyagminőség stb.) szabják meg. A vizsgálatok célja éppen e méretek regisztrálása és meghatározása a terhelés függvényében. A repedés és a próbatest összméreteinek aránya azonban egyik leggyakrabban vitatott pontja a törésmechanikai vizsgálatoknak és számtalan kísérleti nehézség okozója. A jelenleg uralkodó álláspont szerint csak nagyméretű próbatestekkel lehet reális eredményeket kapni, az ilyen vizsgálatok elvégzése azonban igen költséges. Általános tehát az a törekvés, hogy a törésmechanikai jellemzők és a kisméretű próbatestek viselkedése között valami kapcsolatot találjanak.

A továbbiakban igyekszünk rövid áttekintést adni a törésmechanika tudományának fejlődéséről, fontosabb fogalmairól és jelenlegi kutatási irányairól. Ismertetjük a leggyakrabban használt próbatípusokat és az azokkal kapcsolatos követelményeket. Az idézett irodalom azonban csak az elsődleges tájékozódás megkönnyítésére szolgál, mert egy teljes irodalmi összeállítás, azaz az e tárgyban írt több száz dolgozat összegyűjtése és rendszerezése jóval meghaladná egy cikk kereteit. Megemlítendő továbbá, hogy a szerző elsősorban az angolszász szakirodalomra támaszkodott és nem kíván nemzetközi áttekintést adni.

## II. A törésmechanika alapjai

Mint már említettük, a törésmechanika elsősorban GRIFFITH eredményein alapszik, aki a törés folyamatában szétválasztotta a repedés keletkezését a repedés terjedésétől. Kísérletileg is igazolta, hogy rideg anyagoknál (pl. üvegnél) a döntő tényező a repedés terjedése, minthogy a repedések már eleve benne vannak az anyagban, tehát nem kell azokat külső erőhatással létrehozni. A repedés terjedésének kritériumát az energiamérleg alakulásában adja meg. A külső erők munkájának ( $2W_e$ ) szolgáltatni kell az új felületek (töretfelület) felületi energiáját ( $W_s$ ), valamint a rugalmas energiának azt a növekedését ( $W_e$ ), ami a repedés körül kialakult helyi feszültségtorlódás eredménye. A kritikus, instabil állapotban a repedés hosszának ( $2a$ ) növekedésével az összerenergia nem változik, azaz

$$\frac{d}{da} (2W_e - W_e - W_s) = 0. \quad (1)$$

Végtelen széles, vékony lemezben, elliptikus repedést feltételezve

$$W_e = \frac{\pi a^2 \sigma^2 \cdot v}{E} \quad (2)$$

és

$$W_s = 4\gamma \cdot a \cdot v, \quad (3)$$

ahonnan

$$\sigma_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi a}}. \quad (4)$$

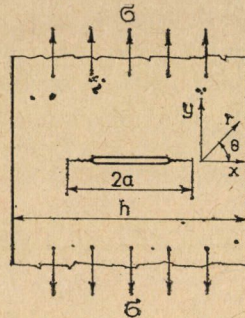
A képletben

- $\gamma$  a felületi energiát,
- $v$  a próbatest vastagságát,
- $\sigma$  a darabra ható átlagfeszültséget,
- $E$  a rugalmassági modulust, és
- $2a$  a repedés hosszát (1. ábra)

jelenti. Látható, hogy a kritikus feszültség értéke anyagjellemzőktől ( $E$ ,  $\gamma$ ) és a próbatest egy meghatározott méretétől ( $a$ ) függ.

Más geometriájú esetekre (vastag lemez, körszimmetrikus rúd stb.) végzett számítások [7, 8] alakilag teljesen hasonló eredményeket adtak, csak az állandók értékei változtak kissé.

Bármennyire kézenfekvőnek és elfogadhatónak látszik azonban GRIFFITH elmélete, a fémeken végzett mérések ezt nem igazolták [3]. Az ellentmondás okára IRWIN [4] és OROWAN [5, 6] mutatott rá, kimutatva, hogy a fémek felületi energiája  $10^3$  erg/cm<sup>2</sup> nagyságrendű, szemben az esetleges képlékeny deformációval, amely  $2 \times 10^6$  erg/cm<sup>2</sup> munkát igényel. Ha Griffith képleteibe egy fiktív, de a képlékeny munkát is magába foglaló „felületi energia” értéket helyettesítünk, úgy a kísérletekkel egyező eredményt kapunk.



1. ábra. Egyenletes húzófeszítéssel terhelt, közepén bemetszett lemez

A későbbiekben OROWAN [9] bebizonyította, hogy a módosított GRIFFITH-elmélet nemcsak konstans hosszan befogott lemezekre, de állandó erővel vagy változó erővel és változó hosszal befogott próbatestekre is érvényes, kiterjesztve ezáltal az alkalmazhatóság határait.

A törésmechanika tudományának fejlődésében azonban IRWIN munkássága jelentette a legjelentősebb állomást [10–13]. Megtartva azt a fel fogást, hogy a törés szempontjából legfontosabb tényező az eleve meglevő repedés terjedése, a megoldást a repedés környezetében ébredő feszültségek elemzésével keresi. Kiindulási alapként leszögezi, hogy a rendszer szempontjából mindazok a terhelések, illetve geometriai méretek egyenértékűek, amelyeknek következtében a repedés éle környezetében a feszültségmező azonos. Az elemzés további feltétele, hogy bár az elemzett feszültségmező kiterjedése a darab méreteihez képest kicsiny, de mégis jóval meghaladja az esetleges képlékeny zóna határait. Így a repedés élének közvetlen környezetében levő, képlékeny alakváltozást szenvedett zónát egy rugalmas feszültségekkel terhelt térfogat veszi körül, amely a külső terhelést közvetíti a képlékeny zónához és így végső fokon megszabja annak viselkedését is.

A feltételezések alapján a repedés élének környezetét a rugalmasságtan szerint lehet elemezni. Ehhez a munkához IRWIN [14] felhasználta WESTERGAARD [15] eredményeit, a repedés körüli mezőprobléma síkbeli megoldását derékszögű koordináta-rendszerben. A zárt formában felírható eredmény igen

jó közelítéssel elégíti ki a peremfeltételeket. Az 1. ábra jelöléseivel felírható síkbeli alakváltozási állapot esetére, hogy

$$\sigma_x = K \frac{\cos \Theta/2}{\sqrt{2\pi r}} (1 - \sin \Theta/2 \sin 3\Theta/2) - \sigma_{ox}, \quad (5)$$

$$\sigma_y = K \frac{\cos \Theta/2}{\sqrt{2\pi r}} (1 + \sin \Theta/2 \sin 3\Theta/2), \quad (6)$$

$$\sigma_z = 2\nu K \frac{\cos \Theta/2}{\sqrt{2\pi r}} - \nu \sigma_{ox}; \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = K \frac{\cos \Theta/2}{\sqrt{2\pi r}} \sin \Theta/2 \cdot \cos 3\Theta/2. \quad (8)$$

Síkbeli feszültségállapot esetén  $\sigma_z = 0$ . Az (5)–(8) egyenletekből látható, hogy  $K$  és  $\sigma_{ox}$  ismeretében a feszültségkomponensek az összes  $r$  és  $\Theta$  értékre számíthatók, azaz két skalárparaméter meghatározza a teljes feszültségmezőt a másodrendű, harmadfokú szimmetrikus tenzor hat skalár komponense helyett.

A repedés síkjában, azaz  $\Theta = 0$  esetén

$$\sigma_x = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} - \sigma_{ox}, \quad (5a)$$

$$\sigma_y = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}}, \quad (6a)$$

$$\sigma_z = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} - \nu \sigma_{ox}; \quad (7a)$$

$$\tau_{xy} = 0. \quad (8a)$$

A gyakorlat számára fontos esetekben  $a/r \gg 1$ , ilyenkor  $\sigma_{ox}$  hatása elhanyagolható, tehát a feszültségkomponensek értékei végül csak  $K$ -feszültségmező-paramétertől (vagy feszültség-intenzitás-paramétertől) függenek.

Az 1. ábrán vázolt esetben

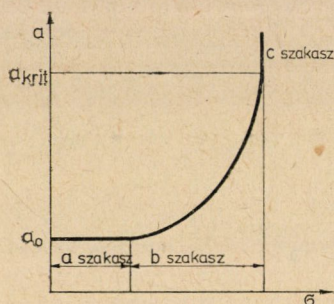
$$K = \sigma \left( h \tan \frac{\pi a}{h} \right)^{1/2}, \quad (9)$$

illetve végtelen széles lemezre

$$K = \sigma \sqrt{\pi a}. \quad (9a)$$

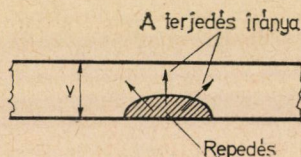


Hasonló összefüggések írhatók fel más geometriájú esetekre is. A  $K$  értékét mindenkor a darabra ható átlagfeszültség, a repedés hossza és a próbatest egy vagy több jellegzetes mérete határozza meg. Az (5)–(8) egyenletek szerint teljesen közömbös, hogy milyen geometriájú próbatestet vizsgálunk, mekkora az átlagfeszültség és milyen hosszú a repedés, csak a három tényező



2. ábra. A repedés hosszának növekedése húzott lemezben a feszültség függvényében

együttes hatása, vagyis a  $K$  értéke szabja meg a rendszer viselkedését. Ez teszi lehetővé, hogy különböző geometriájú és méretű darabokat egymással összehasonlíthassunk.



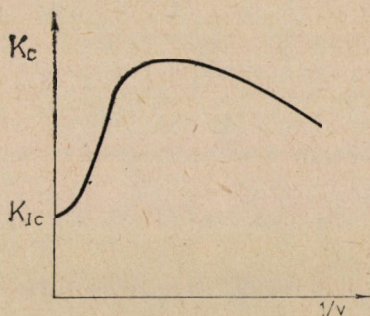
3. ábra. Felületi repedés terjedése egy lemez keresztmetszetében

Egy próbatest viselkedését tekintve, miközben a külső terhelést növeljük, a következő szakaszok választhatók el egymástól [16,17] (2. ábra): Kezdetben a feszültség növekedése miatt növekszik ugyan a  $K$  érték, de a repedés hossza változatlan marad ( $a$  szakasz). Egy, az anyagra jellemző  $K = K_{IC}$  érték elérésekor megindul a repedés terjedése a síkbeli alakváltozási állapotnak megfelelően. Ezzel egyidőben azonban képlékeny alakváltozás is fellép, amely akadályozza a repedés terjedését és igyekszik a feszültségállapotot a síkbeli feszültségállapot irányába eltolni. Emiatt a rendszer tovább is stabilisan viselkedik, a repedés csak fokozatosan, a terhelés növekedésének függvényében nő és állandó vagy csökkenő terhelés esetén változatlan marad ( $b$  szakasz). A monoton növekvő terhelés a  $b$  szakaszban természetesen fokozottabb ütemben növeli a  $K$  értéket, mert itt a feszültségen kívül a repedés hossza is változik. Így a  $K$  végül is eléri  $K_c$ -t, amelynél a gyors, katasztrofális



törés bekövetkezik (*c* szakasz). Teljesen ridegtörés esetében, pl. igen vastag szelvények törésénél a *b* szakasz hiányzik.

Amint az eddigiekből is kitűnik, a törésmechanikában szigorúan meg kell különböztetnünk az index nélküli  $K$  fogalmát a  $K_c$ , ill.  $K_{IC}$  fogalmától. Az előbbi a repedés éle környezetében pillanatnyilag fellépő feszültségállapotot jellemzi, mint ahogy a darabban ébredő „feszültség” is mindig valamilyen külső vagy belső terheléshez tartozik. A  $K_c$ , ill.  $K_{IC}$  ezzel szemben anyagjellemzők, mint ahogy azok a „szilárdság” fogalomkörébe tartozó folyáshatár vagy szakítószilárdság. Mint a többi anyagjellemzők, ezek is erősen függenek a hőmérséklettől és az igénybevétel sebességétől. Dimenziója mindháromnak  $\text{kp/mm}^2 \sqrt{\text{mm}}$ .



4. ábra. A kritikus feszültségparaméter változása a feszültségállapot következtében, amelyet a lemezvastagság reciproka jellemez

A továbbiakban különbséget kell tennünk  $K_c$  és  $K_{IC}$  között. A  $K_{IC}$  pontosan meghatározott feszültségállapothoz, a síkbeli alakváltozási állapothoz tartozik. Törés szempontjából ez a legkedvezőbb, az anyag ellenállása a repedés terjedéssel szemben a legkisebb. Ilyen feszültségállapot lép fel pl. egy felületi repedés környezetében, mikor a repedés a vastagság irányába terjed [18] (3. ábra), a repedés megindulásának pillanatában vagy egy vastag szelvény teljes törésekor. A  $K_c$  ezzel szemben a síkbeli feszültségállapothoz és a közbelső állapotokhoz tartozik. Ilyen állapot van vékonyabb lemezek törésekor, kivéve az indulás pillanatát. Az anyag ellenállása ilyenkor nagyobb, vagyis a  $K_c$  mindig nagyobb érték, mint a  $K_{IC}$ . Minthogy a feszültségállapotot a legegyszerűbben a falvastagsággal lehet változtatni, a  $K_c$  változását is így szokták megadni [19]. Annak érdekében, hogy az ábrán fel lehessen tüntetni a  $K_{IC}$ -t is, amely szigorúan véve  $v = \infty$  esetére érvényes, az abszcisszán  $1/v$  szerepel (4. ábra). Vékonyabb lemezknél a  $K_c$  érték újra kissé csökken. E kísérletileg talált ténnyel az irodalom nem foglalkozik, ennek okát nem elemzi.

Mivel a  $K$  paraméter révén ismeretes a teljes feszültségmező, számítható a rugalmas energiának az a változása is, amely a repedés terjedésének

következménye [20]. Minthogy az energiát egységnyi repedéshosszra és egységnyi úthosszra vonatkoztatják, a mérőszám *dimenziója* mkp/mm<sup>2</sup>, jele *G* és *elnevezése* fajlagos energia-felszabadulás. A felszabadult energia a fémeknél főleg a repedés terjesztéséhez szükséges képlékeny alakváltozási munkát szolgáltatja. Kimutatható, hogy síkbeli feszültségállapotra

$$G = \frac{K^2}{E} \quad (10)$$

a síkbeli alakváltozási állapotra pedig

$$G = \frac{K^2}{E(1 - \nu^2)} \quad (10a)$$

*E* és *ν* a szokásos rugalmasságtani anyagjellemzőket jelenti.

A feszültségmező-paraméter kritikus értékeihez, *K<sub>c</sub>*, ill. *K<sub>IC</sub>*-hez természetesen a *G*-nek is meghatározott értékei, *G<sub>c</sub>*, ill. *G<sub>IC</sub>* tartoznak. Ezeket *törési szívósság* vagy *fajlagos repedésterjesztő erő* néven szokták nevezni, mert a *G* dimenziója kp/mm alakban is felírható.

A (10) egyenletbe a (9a) összefüggést helyettesítve

$$G_c = \frac{\sigma_{\text{krit.}}^2 \cdot \pi a}{E}.$$

Ebből kifejezve  $\sigma_{\text{krit.}}$ -t és az eredményt összehasonlítva GRIFFITH képletével (4) látható, hogy a két képlet egyezik, ha  $G_c = 2\gamma$ . A GRIFFITH által tárgyalt különleges esetben a felszabaduló rugalmas energia valóban csak a felületi feszültség létesítésére fordítódott és az egész levezetés is a (9a) képletnek megfelelő, végtelen széles, középen bemetszett lemezre vonatkozott. IRWIN és munkatársai munkássága alapján azonban az elmélet érvényességi határai lényegesen kiterjedtek [21].

### III. A képlékeny alakváltozás következményei

Bár az előzőekben többször szóba került, hogy a törési folyamat során képlékeny alakváltozás következik be, a feszültségmező-paraméter és a vele kapcsolatos fogalmak a rugalmasságtan szerint lettek meghatározva. Ezért szükségesnek látszott a gyakorlati esetek jelentős hányadában bizonyos korrekciók alkalmazása. Ehhez fel kellett tételezni, hogy a repedés éle közvetlen környezetében az anyag megfolyik [19] és így ebben a zónában egyenletes feszültségeloszlás lép fel. Ha az alakváltozás okozta felkeményedéstől eltekintünk, akkor a feszültség értéke az eredeti folyáshatárral egyenlő. Ponto-

sabb rugalmas-képlékeny feszültség-analízis még nem áll rendelkezésünkre a képlékeny zóna pontos számítására, de kiterjedését jó közelítéssel becsülhetjük annak a feltételezésnek a segítségével, hogy az anyag akkor fog megfolyni, ha a  $\sigma_y \geq \sigma_F$ . A (6a) képletből az  $r_{pl}$  értéke (a plasztikusan deformálódott zóna sugara)

$$r_{pl} = \frac{K^2}{2\pi\sigma_F^2} . \quad (12)$$

Minthogy a képlékeny zónán belül a feszültségek kisebbek lesznek, mint az (5)–(8) képletekkel meghatározottak lennének, ezért a képlékeny zóna teherhordása kisebb, mint amit a feszültséganalízis feltételez. Ez az egyik legfontosabb ok, hogy a képlékeny zóna jelenléte szükségessé teszi a számítás korrekcióját. Pontosabb ismeretek hiányában úgy járnak el, hogy a képlékeny zóna méretét hozzáadják a repedés hosszához, mintha ez a rész semmi terhet nem hordana. Így mindenesetre a nagyobb biztonság irányába térünk el.

A számításokat ez annyiban bonyolítja, hogy a  $K$  meghatározására szolgáló képleteknél [lásd pl. a (9) egyenletet] — az  $a$  helyébe  $a + r_{pl}$ -et helyettesítve olyan kifejezések adódnak, amelyekből a  $K$  nem fejezhető ki explicit formában. Így a számítást iterációval vagy megfelelő nomogramok segítségével kell elvégezni [22].

Még jelentősebb azonban a képlékeny alakváltozás hatása, ha a síkbeli alakváltozási állapot síkbeli feszültségállapotba tud átmenni. A 4. ábrával kapcsolatosan bemutattuk, hogy ekkor az anyag ellenállása a repedés terjedéssel szemben rohamosan nő ( $K_{IC} \rightarrow K_C$ ). IRWIN mérésekkel igazolta [11], hogy síkbeli feszültségállapot lép fel, és a töretfelület iránya  $45^\circ$ -os a húzóerőre, ha a képlékeny zóna mérete kb. egyenlő a lemezvastagsággal [23]. A  $K_{IC}$  tehát csak olyan próbatesttel mérhető, amelynél

$$v > r_{pl} = \frac{K^2}{2\pi\sigma_F^2} . \quad (13)$$

Ezt a követelményt egy dimenzió nélküli viszonyszám ( $\beta$ ) bevezetésével szokták megadni. A (13) képlet átrendezéséből a síkbeli alakváltozás feltétele:

$$\beta = \frac{K^2}{v\sigma_F^2} < 2\pi . \quad (14)$$

Közbevetően megemlítjük, hogy az irodalomban olyan sokszor tárgyalt probléma, az ún. mérethatás [11, 24, 25] általában tágabb értelmű és nem szorítkozik kizárólag a töretjellegnek az előbbieken tárgyalt megváltozására.

A próbatest méretének változása ugyanis a hibák előfordulásának valószínűségét, a deformáció-sebesség kérdését és a darabban tárolt rugalmas energia hatásának problémáját is előtérbe hozza.

A képlékeny alakváltozások tanulmányozása vezetett ahhoz a felismeréshez, hogy az alakváltozás mértéke jellemző a darab viselkedésére és így ezt fel lehet használni a jellegzetes mérőszámok meghatározásához. E téren WELLS [26] végzett úttörő munkát. Eredményeit később BURDEKIN [27, 28] fejlesztette tovább. Gondos kísérletekkel, valamint elméleti úton arra a következtetésre jutottak, hogy nem túlságosan képlékeny anyagoknál a  $G_c$  meghatározható abból a távolságból, amelyre a kezdeti repedés felületei egymástól



5. ábra. A repedés kinyílása, a *crack opening displacement*

eltávolodnak, mielőtt a repedés tovább terjed (5. ábra). Ezt a távolságot az irodalomban COD-nek nevezik az angol elnevezés — *Crack opening displacement* — rövidítéséből. Képletben

$$G_c = COD \cdot \sigma_F. \quad (15)$$

A plasztikus alakváltozáson alapuló törésmechanikát a lineáris törésmechanikától való megkülönböztetés céljából *képlékeny törésmechanikának* nevezik.

A (15) képlet egyszerűsége roppant vonzó, ezzel szemben áll azonban, hogy a COD meghatározása valódi repedéseknél igen nehézkes, bemetszéseknel valamivel könnyebb ugyan, de itt is sokkísérleti nehézséggel jár. Ennek ellenére sok esetben használták eredménnyel [29].

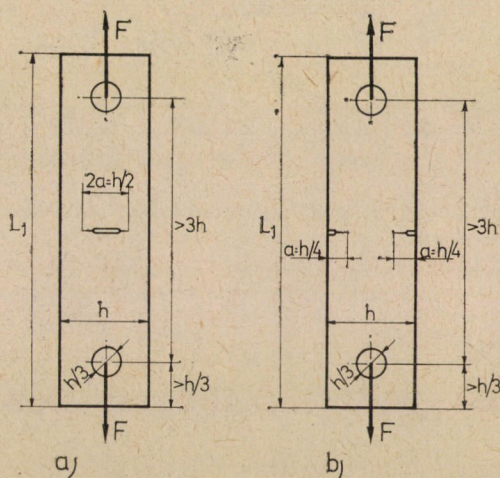
Hangsúlyozni kell azonban, hogy a (15) képlet csak korlátozott mértékű képlékeny alakváltozás esetén használható, azaz amikor a deformáció csak a repedés vagy bemetszés éle környezetében következik be. Nagyobb mértékű alakváltozás esetén a fizikai elképzelés nem állná meg a helyét. A  $G_c$  definíciója szerint ugyanis az alakváltozásra fordított energiát a felületre vonatkoztatjuk, vagyis gondolatban oda koncentráljuk; kis térfogat esetében ilyen közelítés megengedhető, de nagyobb méretű plasztikus zóna esetében helytelen eredményre vezetne.

#### IV. A törési anyagjellemzők meghatározása

Már a bevezetésben is említettük, hogy a törésmechanikának egyik legkényesebb pontja a vizsgálati módszer. Ez abból a tényből ered, hogy a törésmechanika kénytelen sok közelítő feltételezést felhasználni kiindulási



alapként és ezért csak olyan módszerek fogadhatók el mérési eljárásként, amelyeknél ezek a feltételezések nagyjából teljesülnek. Minthogy az eredetileg javasolt vizsgálati módszerek sok kísérleti nehézséggel és nagy költségkihatással járnak, az idők folyamán nagyon sokan foglalkoztak a kérdéssel és ajánlottak kisebb-nagyobb módosításokat, esetleg gyökeresen új módszert. Ezen a téren komoly segítséget jelent az *ASTM* 1967-ben publikált összeállítása [30]. Ebben összefoglalják a bizottság adatokkal alátámasztott, kísérle-



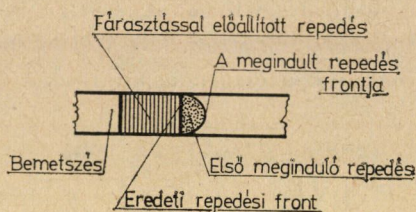
6. ábra. Középen, ill. oldalt bemetszett szakítópróbatestek a  $K_{Ic}$  meghatározásához (a  $h$  érték megválasztása a vizsgált anyag tulajdonságaitól függ)

tekkel ellenőrzött véleményét a különféle ajánlott módszerekre vonatkozólag és útbaigazítást adnak azok alkalmazhatóságára. Ez a munka természetesen nem jelenti végső lezárását a kutatásoknak, csak a pillanatnyi helyzetet rögzíti és igyekszik eligazítást adni az egyébként nehezen áttekinthető hatalmas szakirodalomban.

A törésmechanika ma már klasszikusnak nevezhető vizsgálati módszere középen bemetszett lemezt használ, amelyet húzó igénybevételnek tesz ki (6a. ábra). Vizsgálat előtt a próbatestet fárasztják, amíg csak az éles bemetszésből jobbra-balra egy-egy repedés el nem indul. Így a vizsgálat kezdetén is már valódi repedés viselkedését figyelhetjük meg, amely sokkal élesebb, mint a legélesebb mesterséges bemetszés. A  $K_{Ic}$  meghatározásához felhasználhatjuk a (9) képletet, ha behelyettesítjük a törés pillanatában mért feszültség és repedéshossz értékeit. Az előbbi egy átlagérték, azaz a maximális erő és az eredeti, teljes keresztmetszet viszonya. A repedéshossz pedig az ún. festékes eljárással határozható meg. Kis viszkozitású, jó nedvesítő képességű festéket csöppentenek a repedés tövére a vizsgálat kezdetén. Amikor a repedés lassan növekedni kezd, a szétnyíló felületek a festéket beszívják. A hirtelen törés-



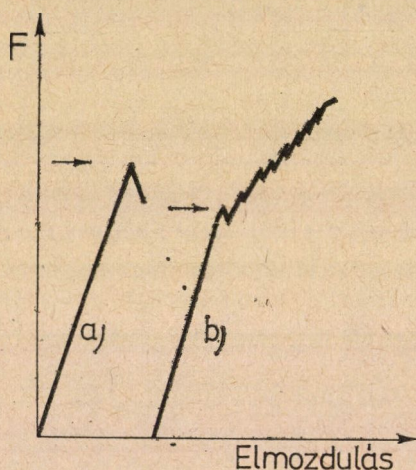
nél azonban erre már nincs idő. Így a festékes felület nagysága megadja a 2. ábrán berajzolt  $a_{krit.}$  értékét, amely a (9) képletbe helyettesítve adja  $K_c$ -t. A vizsgálathoz felhasználható a 6b. ábrán látható próbatest-típus is, de akkor



7. ábra. A repedés megindulása előrepesztett húzott próbatestben

a (9) egyenlet helyett más, jellegében hasonló egyenletet ajánlatos alkalmazni:

$$K = \sigma \sqrt{h \tan \frac{\pi a}{h} + 0,1 \sin \frac{2\pi a}{h}} \quad (16)$$



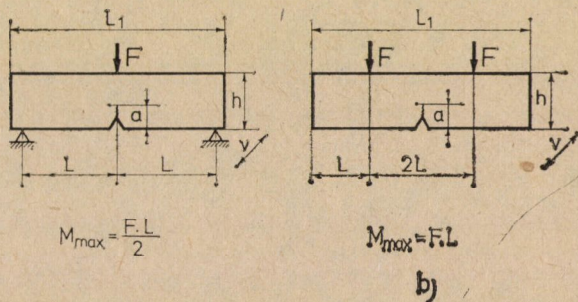
8. ábra. A „hirtelen ugrás”, azaz „pop-in” jelentkezése a szakítódigramban

A 4. ábrával kapcsolatban mondottakból kitűnik, hogy helyesebb lenne az anyagot a  $K_{IC}$ -vel jellemezni, amely nem függ a mérettől, és amely a repedés lassú növekedésének megindulását is megszabja. Az említett módszernél azonban nem tudjuk meghatározni azt a feszültséget, amely ehhez az állapothoz (a 2. ábrán az  $a$  szakasz végpontja) tartozik.

Újabb lehetőséget jelentett e téren BOYLE, SULLIVAN és KRAFT [31, 23] által ajánlott módszer. Ők azt figyelték meg, hogy a repedés lassú megindulása



sem lassan történik a valóságban, hanem egy kis ugrással. A repedés gyakorlatilag hirtelen indul meg, mikor  $K$  eléri  $K_{IC}$  értékét. A feszültségállapot ilyenkor a lemez középvonalában mindenképpen térbeli. A repedés terjedésével egyidőben azonban az él körüli képlékeny alakváltozások is létrejönnek, főleg a lemez két oldala közelében. Ezért a repedés ott nehezebben halad és az eredeti, a fásasztással előállított egyenes repedésfront helyett kb. a 7. ábrán látható görbült front alakul ki. A „hirtelen ugrás” (az angol irodalomban „pop-in”) után a repedés újra megáll, főleg a képlékeny alakváltozás okozta ellen-



9. ábra. Hajlítópróbatestek a  $K_{IC}$  meghatározásához

állás-növekedés miatt. Az az erő, ill. feszültség azonban, amelynél a repedés megindult, jellemző a  $K_{IC}$ -re. A számításokhoz szükséges repedéshossz ilyenkor a kiinduló mérettel azonos, tehát közbelső mérésre nincs szükség. A jellemző erő pedig a szakítódiagramhoz hasonló erő-elmozdulás görbéből határozható meg (8. ábra). Az elmozdulás mérésére természetesen érzékeny nyúlásmérőt kell alkalmazni, mert a szakítógépek normális berendezései erre nem alkalmasak. Ezenkívül figyelembe kell venni az értékelésnél a „hirtelen ugrás” nagyságát, alakját, valamint az ugrást megelőző szakasz linearitását is. Ezekről a körülményektől függ, hogy a „hirtelen ugrás” elég hiteles-e. A 8. ábrán két gyakran megfigyelhető görbealakot tüntettünk fel. Értékelésre alkalmas görbéhez megfelelő vastagságú lemez kell, ahol az abszolút méret megint a tulajdonságoktól is függ.

Gyakran alkalmazott módszer a három vagy négy pontos hajlító kísérlet is (9. ábra). Az előbbi elrendezés igen egyszerű módon alkalmas arra, hogy a statikus vizsgálatnál kapott eredményeket dinamikus vizsgálatokkal egészítsük ki, hiszen a Charpy-ütővizsgálat ennek felel meg. Az ütőművön az erő és a próbatest elmozdulásának regisztrálása már megoldott feladat [33, 34]. Jóval nehezebb annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy mikor, milyen körülmények között lehet a kisméretű Charpy-próbatesteken kapott eredményeket hiteleseknek elfogadni [35, 36]. A hajlított próbatesteket — beleértve az ütve hajlítottakat is minél élesebb bemetszéssel kell ellátni. Ezért a mesterséges bemetszések elkészítése után itt is előfásasztást alkalmaznak,

míg a kellő méretű repedés létrejön. A három pontos hajlító kísérlet esetében ajánlott képlet a  $K$  számítására a következő [37]:

$$K = \frac{2M_{\max}}{vh} \sqrt{\frac{1}{h} \left[ 31,7 \left( \frac{a}{h} - 64,8 \left( \frac{a}{h} \right)^2 + 211 \left( \frac{a}{h} \right)^3 \right] \right.} \quad (17)$$

A képletben  $M$  a hajlító nyomatékot,  $v$  a próbatest vastagságát,  $h$  pedig a szélességét (magasságát) jelenti.

Bár az ismertett vizsgálati módszerek változatlanul érvényben vannak, a  $K$  számítására használt képletek (9), (16) és (17) bizonyos mértékben módosultak. A képletek kidolgozásához ugyanis egy részről pontos rugalmasság-mérésekre van szükség különböző hosszúságú repedéseket tartalmazó próbatesteken, másrésztől alkalmas, egyszerűsítő matematikai modellek megalkotására [20, 38–40]. A mérés technika fejlődése, valamint a számítógépek alkalmazása lehetővé tették, hogy a  $K$  értékét nagyobb pontossággal lehessen meghatározni. A jelenlegi álláspont szerinti legjobb megoldásokat a már idézett *ASTM* közlemény foglalja össze [30].

Annak érdekében, hogy a különböző próbatest-alakokat egységes rendszer szerint lehessen tárgyalni, nem közvetlenül a  $K$  értékét, hanem egy közbeeső  $Y$  tényezőt adnak meg. Ez mindig az  $a/h$  függvénye, ahol a betűk jelentése összhangban van a 6. ábrával. Az  $Y$  tényező értéke:

Középen berepesztett, húzott próbatestre:

$$Y = 1,77 \left[ 1 - 0,1 \frac{2a}{h} + \left( \frac{2a}{h} \right)^2 \right]; \quad (18)$$

oldal-bemetszésű, húzott próbatestre:

$$Y = 1,98 + 0,36 \frac{2a}{h} - 2,12 \left( \frac{2a}{h} \right)^2 + 3,42 \left( \frac{2a}{h} \right)^3. \quad (19)$$

Mindkét esetben

$$K = \sigma \sqrt{a} Y. \quad (20)$$

Egy oldalról bemetszett, négy ponton hajlított próbatestre (tisztá hajlítás).

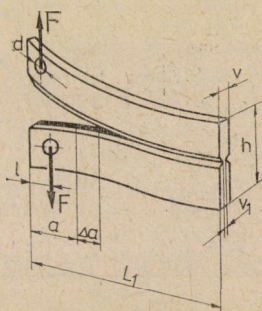
$$Y = 1,99 - 2,47 \frac{a}{h} + 12,97 \left( \frac{a}{h} \right)^2 - 23,17 \left( \frac{a}{h} \right)^3 + 24,8 \left( \frac{a}{h} \right)^4. \quad (21)$$

Három pontos hajlításnál az állandók értékei kissé eltérők. Az  $Y$  és  $K$  összefüggése hajlításnál:

$$K = \frac{6M_{\max}}{v \cdot h^2} \sqrt{a} \cdot Y = \sigma_{\max} \sqrt{a} \cdot Y. \quad (22)$$



Viszonylag kis anyagigényű és ezért előnyösnek ígérkező vizsgálati módszer a *kettős konzoltartós módszer* (az angol irodalomban *DCB*-nek rövidítve szerepel, a *double cantilever beam* elnevezésnek megfelelően) [41, 42]. Ennek lényege, hogy egy oldalirányú bemetszésekkel gyengített keresztmetszetet előzetes befűrészelés és fárasztás után excentrikus húzó igénybevétellel repesztünk (10. ábra). A repedés itt is ugrásokban és nem folyamatosan terjed. A helyesen méretezett próbatestnél az igénybevétel növekedésével a konzolos karok rugalmasan meghajolnak, majd ha az energiaviszonyok



10. ábra. A kettős konzoltartós próbatest vázlata vizsgálat közben

alakulása ezt megkívánja, a repedés terjedni fog (lásd a bevezetésben GRIFFITH elméletét). Ez a terjedés — itt nem részletezett okoknál fogva — ugrásszerű. A repedés terjedésével egyidőben azonban megváltozik a próbatest geometriája (a karok hossza), ez hirtelen erőcsökkenést okoz, ami végül a repedést megállítja. A kísérlet folytatásaként ez a folyamat többször ismétlődik a próbatest teljes töréséig. Jellegzetes erő-elmozdulási diagram látható a 11. ábrán. Az értékelésnél mind az  $F_{\max}$ , mind az  $F_{\min}$  értékeit felhasználják, ennek részletezésére azonban a VI. Újabb kutatási területek című fejezetben kerül sor. A törési jellemzők meghatározásánál minden ugrást külön-külön lehet felhasználni és az eredményeket átlagolni. A számítás alapjául szolgáló képlet

$$G = \frac{F^2}{2v_1} \frac{d\Phi}{da}, \quad (23)$$

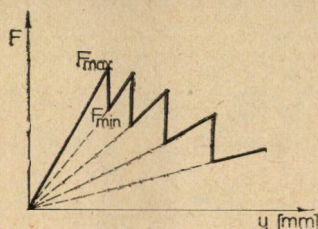
ahonnan (10a) egyenlet segítségével kapjuk  $K$ -t.  $\Phi$  jelenti a próbatest rúgóállandóját  $\text{kp/mm}$  dimenzióban, amelyet az erőugráshoz tartozó bekezdő szakasz mereksége ad meg. A leolvasott  $\Phi_1, \Phi_2 \dots$  értékekhez tartozó

$$\frac{d\Phi_1}{da_1}, \quad \frac{d\Phi_2}{da_2} \dots$$



differentiálhányadosokat igen egyszerűen lehet meghatározni olyan hitelesítő görbe segítségével, amelyhez különböző mélységig befűrészelt próbatestek rugóállandóját mérik meg.

A próbatestek méreteinek itt is nagy szerepe van a vizsgálat sikerét illetően. Helytelenül választott méretek esetén a száraz plasztikusan deformálódhatnak vagy letörhetnek, a repedés nem a kívánt síkban halad, a feszültségállapot eltolódik a síkbeli állapot felé stb. Néha a próbatestnek valamelyik méretét céltudatosan változtatják a hosszúság függvényében és így igen



11. ábra. A kettős konzol tartós próbatesttel végzett vizsgálat során kapott tipikus szakítódiagram

egyszerűen lehet jellegzetes mérethatásokat kimérni. A megfelelő méretek megválasztása azonban ennél a próbatest-típusnál talán még nagyobb tapasztalatot és gyakorlatot kíván, mint a többi ismertetett módszernél.

## V. A próbatestek méreteinek megválasztása

Amint erre már több ízben utaltunk a darabok viselkedése méretfüggő, ezért a vizsgálatoknál nem használhatunk bármilyen méretű próbatestet. A méretek megválasztásánál a legfontosabb szempont, hogy a meghatározott  $K_{IC}$  érték valóban jellemezze az anyagot, megadja a választott hőmérséklet és igénybevételi sebesség mellett az anyag legkisebb ellenállását a töréssel szemben, a legkedvezőtlenebb feltételek mellett. Bemutattuk azt is, hogy ezek közé a „legkedvezőtlenebb feltételek” közé tartozik a síkbeli alakváltozási állapot, amely csak akkor alakul ki, ha a repedés csúcsa körüli képlékeny zóna mérete jóval kisebb, mint a lemezvastagság. Emlékeztetnünk kell arra is, hogy a törésmechanika egész mai szemlélete — elsősorban az ún. lineáris törésmechanika — a rugalmasságtanra van felépítve és a megadott összefüggések szigorúan csak akkor érvényesek, ha képlékeny alakváltozás nem fordul elő. A gyakorlat bebizonyította, hogy a viszonylag kis térfogatra koncentrált plasztikus deformáció csak elhanyagolható hibát okoz, de éppen ezért szükséges, hogy a próbatest főméretei jóval nagyobbak legyenek, mint a képlékeny zóna. Ugyanez a követelmény kihat a bemetszés mélységének, ill.



a repedés hosszának megválasztására is. Túlságosan sekély bemetszés esetén a feszültség a bemetszetlen részekben elérné a folyáshatárt, még mielőtt a bemetszésnél  $K$  elérné  $K_{IC}$ -t. A próbatest egészére vonatkozó „teljes folyás” pedig gyökeresen megváltoztatná a feltételezett feszültségállapotot. Másrészt a  $K$  számítására szolgáló képletek [(9), (16), (17), (18), (19) és (21)] is csak meghatározott  $a/h$  tartományban közelítik meg kellő pontossággal a valódi értékeket. Túlságosan mély bemetszés mérés technikai szempontból kedvezőtlen, ugyanis a  $K$  nagyon érzékenyen változik nagy  $a/h$  értékeknél. Ilyenkor a repedéshossz ( $a$ ) mérésében elkövetett viszonylag kis hiba is jelentősen változtatja a számított  $K_{IC}$  értéket. További bonyodalmat okoz a tárolt rugalmas energia. Bár kimutatható, hogy a repedés megindulását a tárolt energia nem befolyásolja, de a repedés terjedését annál inkább. A repedés csak akkor terjed, ha elegendő tárolt rugalmas energia van a rendszerben [26], azaz a próbatest elegendően nagy. Ebből a szempontból azonban egyenértékű lehet valamely más, a próbatesttel sorba kapcsolt energiátárolás is.

Mindezek a megfontolások nem adnak határozott választ arra a kérdésre, hogy végül is milyen méretű próbatestet kell készíteni. Jelenlegi ismereteink szerint e kérdésre nincs is határozott válasz. Kényesebb esetekben többféle méretű próbatestet kell vizsgálni és kísérletekkel kell meghatározni a mérethatást. Ez esetben ügyelni kell arra, hogy metallurgiai okok ne befolyásolhassák az eredményt. Helytelen lenne tehát különböző vastagságra hengerelt lemezeket használni, mert a hengerlés mértéke a szemcsenagyság, a sorosság, a szennyezők eloszlása és más tényezők következtében alapvetően változtatja meg a tulajdonságokat. A terhelés sebességét is arányosan változtatni kell a próbatest méreteivel, hogy a sebesség-hatás befolyását kiiktassuk.

Ha a ridegtörési vizsgálatokat egy adott alkalmazási terület számára végzik, legelőnyösebb, ha a teljes falvastagsággal készítjük a próbatesteket. Az alkalmazott repedés hosszát abból a feltevésből lehet meghatározni, hogy a szerkezetben a technológiát, az ellenőrzési módszereket, az üzemi körülményeket tekintve a legrosszabb esetben milyen méretű repedés várható.

A méretekre vonatkozó tájékoztató adatként figyelembe lehet venni a SRAWLEY jelentésében [16] közölt összeállítást. Abszolút méretek helyett itt is csak szorzótényezőket adnak meg, amelyeket a vizsgált anyagra vonatkozó  $(K_{IC}/\sigma_F)^2$  értékkel kell még szorozni. Ez a viszonyszám ugyanis a (13) összefüggés szerint arányos a képlékeny zóna méreteivel, így végül is a próbatest dimenzióit a képlékeny zóna határozza meg. Az ajánlott szorzótényezőket néhány fontosabb próbatest fajtára az I. táblázatban közöljük.

A kettős konzoltartós próbánál tájékoztató adatként megadjuk azokat a méreteket, amelyeket sikeresen alkalmaztak az [50] alatt közölt vizsgálatoknál. A 10. ábra jelöléseivel:  $L_1 = 380-460$  mm,  $h_1 = 38-76$  mm,  $v = 25$  mm,  $v_1 = 8$  mm,  $a = 50$  mm,  $l = 25$  mm,  $d = 12$  mm.

## I. táblázat

Érvényes  $K_{IC}$  méréshez ajánlott minimális próbatest-méretek

| Próbatest típus  | Vastagság, $v$ | Repedés-hossz, $a$ | Szélesség, $h$ | Hosszúság, $L_1$ |
|--|----------------|--------------------|----------------|------------------|
| Középen bemetszett lemez (6a. ábra)  | 2,5            | 2,5                | 10             | 40               |
| Két oldalról bemetszett lemez (6b. ábra)   | 2,5            | 2,5                | 10             | 40               |
| Egy oldalról bemetszett hajlított lemez, három pontos megtámasztás (9a. ábra); $L/h = 2$ | 2,5            | 2,5                | 5              | 21               |
| Egy oldalról bemetszett hajlított lemez, tiszta hajlítás (9b. ábra); $L/h = 2$           | 2,5            | 2,5                | 5              | 41               |

Megjegyzés: A táblázatban közölt tényezőket  $(K_{IC}/\sigma_F)^2$ -tel meg kell szorozni.

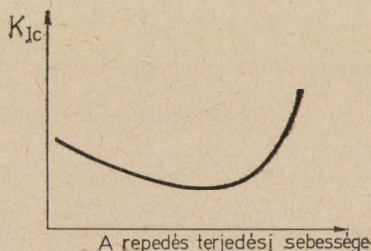
## VI. Újabb kutatási területek

Már az eddigiek alapján is következtetni lehet, hogy a törési jellemzők meghatározására szolgáló módszerek tökéletesítésre szorulnak. Legnagyobb hiányosságuk, hogy a reális próbatest-méreteket alapul véve alkalmazási területük erősen korlátozott, elsősorban a nagyszilárdságú acél-, az alumínium- és a titánötvözeteknél használhatók. A vizsgálatok itt is igen anyagigényesek és így széles körű alkalmazásuk gazdasági akadályokba ütközik. Érthető tehát az a törekvés, hogy a kis próbatesteket igénylő Charpy-vizsgálatot módosítsák olyan módon, hogy abból a törési jellemzőket meg lehessen állapítani. Ez a munka már jó néhány éve elkezdődött és publikációk sora bizonyítja az elért sikereket [33, 35, 43]. Ennek ellenére még sok vitatható, gyenge pont maradt.

A legnagyobb nehézséget mindig a viszonylag szívós anyagok (pl. a lágy acél) okozzák. Ezért próbálják pl. FEARNEHOUGH és NICKOLS [44] a Charpy-vizsgálatokat a képlékeny törésmechanika (COD mérés) segítségével értékelni. A kedvezőtlenebb feszültségállapotot (síkbeli alakváltozási állapot) a fáradt repedés létesítése mellett oldalsó hornyokkal is elősegítik.

Az ütvehajlító vizsgálat alkalmazása a próbatest mérete mellett az igénybevételi sebesség problémáját is előtérbe hozza. Ezek a kutatások nagymértékben támaszkodnak KRAFFT [45] munkásságára, aki többek között vizsgálta az igénybevételi sebesség, a repedés-terjedés sebessége és a kritikus feszültségmező-paraméter közötti kapcsolatot. A töréssel szembeni ellenállás a repedés-terjedési sebesség függvényében minimumot mutat (12. ábra). De KRAFFT később összefüggést talált a felkeményedési együttható és a  $K_{IC}$  között és ezen az úton azt találta, hogy az igénybevételi sebesség függvényében mindkét mennyiség periódusosan változik [46, 47]. Ez a „sebesség-spektrum” ma is intenzív kutatás tárgya és fémfizikai alapon keresik magyarázatát.

A 12. ábra alapján elvárható, hogy az ütvehajlító vizsgálat eredményei nem lehetnek egybevágók a statikus kísérletek eredményeivel. A kísérletek valóban azt bizonyították, hogy dinamikusan kisebb  $K_{IC}$  értékeket kaptak. Ennek alapján a jelenlegi felfogás szerint megkülönböztetnek *statikus*, *indító*  $K_{IC}$  értéket és *dinamikus*, *minimális*, *megállító*  $K_{IC}$  értéket. A gyakorlatilag előforduló sebességek ugyanis a 12. ábra görbéjének leszálló ágán vannak. Így a repedés elindulásához a görbe elején levő valamilyen  $K_{IC}$  érték tartozik, az alkalmazott sebességnek megfelelően. Az elindított repedés azonban fel-



12. ábra. A minimális kritikus feszültség-paraméter értékének változása a repedés-terjedési sebesség függvényében

gyorsul arra az értékre, amelynél a  $K_{IC}$  minimumot mutat, ezért a repedés csak akkor áll meg, ha  $K < K_{IC \text{ minimum}}$ . A kettős konzoltartós módszerrel is mindkét  $K_{IC}$  értéket meghatározzák a  $F_{\max}$ , ill.  $F_{\min}$  felhasználásával.

Az utóbbi évek közleményeiben gyakran megtalálható ez a megkülönböztetés az indító  $K_{IC}$  és megállító  $K_{IC}$  között [42]. Más elképzelés szerint azonban csak a legkisebb  $K_{IC}$  érvényes és a „sebesség-hatás” tulajdonképpen csak azért jelentkezik, mert statikus kísérleteknél a folyáshatár kisebb, ezért a (12) egyenlet értelmében a képlékeny zóna nagyobb lesz, ami a feszültségállapotot a kedvezőbb síkbeli állapot felé tolja el. Ennek alátámasztására 60–100 mm vastagságú kettős konzoltartós vizsgálatokat végeztek, és ezeknél mindenkor a minimális  $K_{IC}$ -t kapták. Amerikai laboratóriumokban nemrég extrém méretű lemezekkel ( $\sim 250$  mm vastagság) folytatott kísérletek azonban megint a  $K_{IC}$  növekedését mutatták. Ezeknek az ellentmondásoknak az elméleti és kísérleti tisztázása folyamatban van.

A kisméretű próbatestek felhasználásával és a sebesség befolyásával kapcsolatos kérdések mellett egy további nagy témacsoport a repedés éle körüli képlékeny alakváltozás pontosabb megismerése. Mind elméleti elemzésekkel [48, 49], mind újabb és újabb mérési módszerekkel [50, 51] igyekeznek meghatározni a képlékeny zóna határait, alakját és az alakváltozás mértékét. Ezzel egyidőben a repedés terjedésének mechanizmusára vonatkozóan is újabb, módosított elméletek születnek. A jelentős méretű képlékeny zónának megfelelően a törési ellenállás számításánál egyre gyakrabban alkal-

mazzák a képlékeny törésmechanika összefüggéseit és a *COD* meghatározására is újabb módszereket adnak meg [52, 53].

Mindezeket összevetve, megállapítható, hogy a fejlődés kétségtelenül abba az irányba tart, hogy a törésmechanika alkalmazási területét a viszonylag kis szilárdságú, képlékeny anyagokra is kiterjesszék, és hogy gazdaságosabb módszerek kidolgozása révén a vizsgálatok és rendelkezésre álló adatok számát növeljék. Ezt a célkitűzést csak a kísérleti munkával párhuzamosan haladó elmélyült elméleti kutatás támogatásával lehet elérni, hiszen újabb összefüggések felismerése nem lehetséges a fizikai jelenségek jobb megértése nélkül.

### IRODALOM

1. Klier, E. P.: *Am. Soc. Metals* **43** (1950), 935.
2. Griffith, A. A.: *Phil. Trans. Roy. Soc. London A*—**221** (1920), 163.
3. Zener, C.—Hollomon, V. H.: *Trans AIMME* **158** (1944), 298.
4. Irwin, G. R.: Fracture dynamics in *Fracturing of Metals* (ASM—1947). ASM, Cleveland 1948; 147—166.
5. Orowan, E.: Fracture and strength of solids. *Reports on Progr. in Physics* **12** (1949), 185—232.
6. Orowan, E.: Fundamentals of brittle behaviour in metals in fatigue and fracture of metals (MIT Symposium 1950). J. Wiley et Sons, New York 1952; 139—167.
7. Sack, R. A.: Extension of Griffith's theory of rupture to three dimensions. *Proc. Phys. Soc.* **58** (1946), 729—736.
8. Elliot, H. A.: An analysis of the conditions for rupture due to Griffith cracks. *Proc. Phys. Soc.* **59** (1947), 208—223.
9. Orowan, E.: Energy criteria of fracture. *Welding Journal* (Research Suppl.) **20** (1955), 157s—160s.
10. Irwin, G. R.: Contribution to Strength limitations of metals. Syracuse University Research Inst. Syracuse, New York 1956.
11. Irwin, G. R.: Fracture mechanic (Contribution to the First Symposium on Naval Structural Mechanics Stanford University). Stanford, California 1958.
12. Irwin, G. R.—Kies, J. A.: Fracture theory applied to high-strength steels. *Metal Progress* **78** (1960); VIII, 73—78.
13. Irwin, G. R.—Srawley, J. E.: Progress in the development of crack toughness fracture tests. *Materialprüfung* **4** (1962), 1—11.
14. Irwin, G. R.: Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate. *Journal of Appl. Mech.* **24** (1957), 361.
15. Westergaard, H. M.: Bearing pressures and cracks. *Journal of Appl. Mech.* **6** (1939): II, A49—A53.
16. Srawley, J. E.: The slow growth and rapid propagation of cracks. NRL Report 5617, Washington 1961.
17. *Second report of a Spec. ASTM Committee: The slow growth and rapid propagation of cracks. Materials, Research and Standards* (1961), 389—393.
18. Irwin, G. R.: Crack-extension force for a part-through crack in the plate. *Journal of Appl. Mech.* (1961), No. 62—WA—13.
19. Irwin, G. R.: Fracture mode transition for a crack traversing a plate. Metals Eng. Div. Conf. ASME, Albany (New York) 1959.
20. Irwin, G. R.—Kies, J. A.: Critical energy rate analysis of fracture strength. *Welding Journal* (Research Suppl.) **33** (1954), 193s.
21. *ASTM Spec. Committee Report: Fracture testing of high strength sheet materials. ASTM Bulletin* No 243 (1960); No. 243, 29—40 és No. 244, 18—28.
22. Irwin, G. R.: Fracture testing of high strength sheet materials under conditions appropriate for stress analysis. NRL Report 5486, Washington 1960.
23. Van den Boogaart, A.—Turner, C. E.: Fracture mechanics: a review of principles with



- special reference to applications for glassy plastics in sheet form. *Journal of the Plastic Inst.* (1963), 109—117.
24. WELLS, A. A.: The geometrical size effect in notch brittle fracture. *Trans. North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders* 71 (1955), 277—290.
  25. WEIBULL, W.: A statistical theory of the strength of metals. *Proc. Royal Swedish Inst. Eng. Res.* (1958), No. 151.
  26. WELLS, A. A.: The application of fracture mechanics at and beyond general yielding. *British Welding Journal* (1963), 563.
  27. BURDEKIN, F. M.—STONE, D. E. W.: The crack opening displacement approach to fracture mechanics in yielding materials. *Journal of Strain Analysis* 1 (1966), 145—153.
  28. BURDEKIN, F. M.: The assesment of structural steel by fracture mechanic. *British Welding Research Association* (1966); C 140/11/66 1—8.
  29. BURDEKIN, F. M.—DOLBY, R. E.—EGAN, G. R.: Fracture initration in welding joints of ferritic steels (Proc. of the Second. International Conf. on Fracture Brighton 1969). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 180—191.
  30. BROWN, W. F. JR.—SRAWLEY, J. E.: Plain strain crack toughness testing of high strength metallic materials. *ASTM Spec. Techn. Publ.* (1967), No. 410.
  31. BOYLE, R. W.—SULLIVAN, A. M.—KRAFFT, J. M.: Determination of plain strain fracture toughness with sharply notched sheets. *J. Welding Research Supplement* (1962), 428s—432s.
  32. BOYLE, R. W.—SULLIVAN, A. M.—KRAFFT, J. M.: Effects of dimensions on fast fracture instability of notched sheets (Crack Propagation Symposium). College of Aeronautics, Cranfield (England) 1961.
  33. RADON, J. C.—TURNER, C. E.: Fracture toughness measurements by instrumented impact test. *Engineering Fracture Mechanics* 1 (1969), 411—428.
  34. KONKOLY, T.: Enregistrement des diagrammes force-temps an cours des essais de résilience sur des métaux déposés par soudage automatique et interpratation. IIW publ. 1968.
  35. FORD, G.—RADON, J. C.—TURNER, C. E.: Fracture toughness of a medium-strength steel. *Journal Iron and Steel Inst.* 205 (1967), 854—860.
  36. STONE, D. E. W.—TURNER, C. E.: Brittle behaviour in laboratory scale mechanical testing. *Proc. of the Royal Soc. A* 285 (1965), 83—103.
  37. SRAWLEY, J. E.—BROWN, W. E.: *NASA Techn. Note* (1965), TN D-2599.
  38. GROSS, B.—SRAWLEY, J. E.—BROWN, W. F. JR.: Stress intensity factors for a single-edge-notch tension specimen by boundary collocation of a stress function. *NASA Techn. Note* (1964), D-2395.
  39. GROSS, B.—SRAWLEY, J. E.: Stress-intensity factors for single-edge-notch specimens in bending as combined bending and tension by boundary collocation of a stress function. *NASA Techn. Note* (1965), D-2603.
  40. GROSS, B.—SRAWLEY, J. E.: Stress-intensity factors for three-point bend specimens by boundary Collocation. *NASA Techn. Note* (1965), D-3092.
  41. HOAGLAND, R. G.: On the use of the double cantilever beam specimen for determining the plane strain fracture toughness of metals. *Trans. ASME Journal of Basic Engineering* (1967); Paper No. 67 — Met-A. 1—8.
  42. TURNER, C. E.—RADON, J. C.: Fracture toughness measurements on low strength structural steels (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton 1969). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 165—169.
  43. ORNER, G. M.—HARTBOWER, C. E.: Precracked Charpy fracture toughness correlations. *ASTM Symposium*, Chicago 1964.
  44. FEARNEHOUGH, G. D.—NICKOLS, R. W.: Fracture mechanics considerations in the Charpy impact test. *Int. Journ. Fracture Mechanic* 4 (1968); No 3, 245—256.
  45. KRAFFT, J. M.: Correlations of flow and fracture behaviour. Note for ASTM-FTHSSM Committee Meeting, Cleveland 1963.
  46. KRAFFT, J. M.: Correlation of plain strain crack toughness with strain hardening characteristics of a low, a medium and a high strength steel. *Appl. Materials Research* (1964), 88—101.
  47. KRAFFT, J. M.: A rate „spectrum” of strain hardenability and of fracture toughness. *Report of NRL Progress* (1966).
  48. ARTHUR, P. F.—BLACKBURN, W. S.: The effect of the shape of plastic zone on zone size and crack opening displacement (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton 1969). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 15—23.
  49. HUFF, H. W.—JOYCE, J. A.—MCCLINTOCK, F. A.: Fully plastic crack growth under monotonic and repeated bending (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton 1969). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 83—93.



50. ROOKE, D. P.—BRADSHAW, F. J.: A study of crack tip deformation and a derivation of fracture energy (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 46—57.
51. HAHN, G. T.—KANNINEN, M. F.—ROSENFELD, A. R.: Ductile crack extension and propagation in steel foil (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 58—72.
52. BIRKBECK, G.—WRAITH, A. E.: Direct surface measurement of the crack opening displacement of mild steel Charpy specimens (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton). Chapman and Hall Ltd., London 1969; 24—30.
53. KANAZAWA, T.—MACHIDA, S.—MOMOTA, S.—HAGIWARA, Y.: A study of the crack opening displacement (COD) concept for brittle fracture initiation (Proc. Sec. Int. Conf. on Fracture Brighton). Chapman and Hall, London 1969; 1—14.

**Development and Further Outlook in Research Work of Fracture Mechanic.** In the paper a general view is given on the fundamental thoughts of fracture mechanics, about its most important achievements and further outlook. The concept of brittle fracture is briefly discussed and the ideas playing a roll in evaluation of fracture mechanics are presented. After introducing the basic connections and concept, the most general testing methods for the determination of fracture characteristics are shown. In connection with this, the importance of specimen sizes is emphasized and a guide is given for helping to choose those properly. Finally the main problems of up-to-date research work are briefly summarized.

**Entwicklung und weitere Forschungsrichtungen der Bruchmechanik.** Der Bericht gibt einen Überblick über die Grundlagen der Bruchmechanik, über ihre wichtigsten Ergebnisse und Weiterentwicklung. Es befaßt sich mit dem Begriff des Sprödbrechens und stellt die Überlegungen — welche zur Entwicklung der Bruchmechanik führten — vor. Nach der Besprechung der grundsätzlichen Zusammenhänge und Grundbegriffe werden die wichtigsten Prüfmethode für die Bestimmung der Brucheigenschaften diskutiert. Hierbei wird an die außerordentliche Bedeutung der Größe von Proben hingewiesen und die Wahl ihres richtigen Wertes erleichtert. Endlich werden die wichtigsten Probleme der heutigen Forschungsarbeiten zusammengefaßt.

# A FINOMMEGMUNKÁLÁSOK HELYZETE AZ IPARILAG FEJLETT ORSZÁGOKBAN ÉS HAZÁNKBAN

HORNUNG ANDOR\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

TÓTH ISTVÁN\*\* és VERNÓCZI GYÖRGY\*\*\*

[Beérkezett 1970. május 18-án]

## I. Bevezetés

A rohamosan fejlődő gépipar a gépek működő felületeinek mind nagyobb méretpontossággal és mindinkább jobb felületi minőséggel történő elkészítését követeli meg. Ugyanis ezek a feltételek teszik lehetővé a gépek minőségének és élettartamának a növelését. Ezeket a követelményeket a finommegmunkálások fokozott alkalmazásával lehet biztosítani. Jelen tanulmány nem kíván foglalkozni a finommegmunkálások azon módszereivel, amelyek csupán a felületi minőség megjavítására szolgálnak (pl. nikkel- és krómbevonatok előtti megmunkálások) anélkül, hogy az alakhűséget és a méretpontosságot ez alkalommal megnövelnék.

Ugyancsak nem kívánunk foglalkozni jelen összeállításban a szabályos egy, esetleg többélű szerszámokkal végzett finommegmunkálásokkal, mint pl. a gyémántesztergálással, a keményfémmeel végzett finomesztergálással és finommarással. Ugyanis a nagy igénybevételnek kitett gépalkatrészek működő felületei leginkább kemény, edzett kivitelűek, amelyeknek a végső finommegmunkálása az említett szabályos élű szerszámokkal nem végezhető el. Így összeállításunk szabálytalan, sokélű kötött vagy szabad szemcsével végzett finommegmunkálásokra korlátozódik.

A továbbiakban azokat a megmunkálásokat nevezzük finommegmunkálásoknak, amelyekkel az azonos művelet útján végzett nagyoló megmunkálás után következő simító megmunkálással  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$  felületi érdesség érhető el. Mind a méretpontosság, mind az alakhűség növelésére alkalmas finommegmunkálások: a tükrösítés (leppelés), a dörzscsiszolás (honing), a tükrösímítás (szuperfinis) és a köszörülés különböző válfajai.

A tükrösítés alkalmas a legfokozottabb követelmények kielégítésére, azonban a termelékenysége kicsiny és nagy szakértelmet kíván, különösen a kézi és félig gépi eljárásoknál. Ugyanis a teljesen gépesített *tükrösítés* csak az

\* HORNUNG ANDOR, Budapest VIII. Reguly Antal utca 33.

\*\* TÓTH ISTVÁN, Budapest XI. Bartók Béla út 126.

\*\*\* VERNÓCZI GYÖRGY, Budapest VIII. Mező Imre út 25.

eljárásnak megfelelően kialakított hengeres, sík és gömbfelületek megmunkálására alkalmas. A *dörzscsiszolás* furatok nagy pontosságú és fokozott felületi minőségű megmunkálására jó termelékenységgel és gazdaságossággal mellett használható. A *tükrösimítás* főleg külső hengeres és sík felületek megmunkálására alkalmas fokozott felületi minőség mellett és újabb eljárásokkal az alakhűséget is javítja. Pontosan megválasztott viszonyok mellett jó termelékenységgel dolgozik.

A *köszörülés* a leggyakrabban alkalmazott finommegmunkálás, amely igen erős fejlődésben van mind a köszörűgépek, mind a köszörűkorongok minőségének megjavítása útján. Ezzel eléri, hogy mind méretpontosság, mind alakhűség és felületfinomság szempontjából a köszörüléssel nagy termelékenységgel igen jó eredményeket lehet elérni. A köszörülés nagy jelentőségét támasztja alá az a tény is, hogy a szakirodalom az utóbbi évtizedekben igen sokat foglalkozik a köszörülés fejlesztő kutatások ismertetésével.

Néhány példa a köszörülés fejlesztésének a fontosságáról:

A *Szovjetunióban* a leningrádi *Össz-szövetségi Tudományos Köszörülési Intézet* (rövidítve: *VNIIAS*) 1200 dolgozót foglalkoztat, az amerikai *Norton Co.* a köszörülés, a köszörűkorongok és a köszörűgépek gyártásának fejlesztésére 1500 főből álló kutatóosztályt tart fenn. A japán *Köszörűs Mérnökök Egyesülete* az 1965. évi adatok szerint 458 tagot számlál. Két akadémikus vezetésével 56 tag 26 egyetemen, 43 tag 12 állami kutatólaboratóriumban, a további 359 tag pedig 174 különböző üzemben foglalkozik a köszörülés időszzerű kérdéseivel.

Mint általában minden forgácsoló megmunkálásnál, ha az nagy helyi mechanikai és hőigénybevétel mellett történik, a munkadarab felületi rétegében visszamaradó feszültségek keletkeznek. Ezek hatására üzem közben a felületi rétegből leválásokkal, esetleg deformációkkal kell számolni. Az erősen igénybevett gépalkatrészek működő felületeinél — a visszamaradó feszültségek következtében — a kopás és súrlódás növekedésével kell számolni. Ezzel szemben azoknál a végső simító megmunkálásoknál, amelyeket kis nyomás, kis sebesség és ennek következtében kis hőmérséklet mellett végeznek, a visszamaradó feszültségek majdnem teljesen eltűnnek vagy olyan kis értékűek, hogy azok mellett nagy felületi nyomás és nagy sebesség ellenére is igen kedvező súrlódási és kopási értékeket lehet elérni. Az ilyen működő felületű gépalkatrészek tehát igen jó minőséget és hosszú élettartamot eredményeznek.

Kis sebességgel és kis felületi nyomással dolgozó finommegmunkálási módok: a tükrösítés, a tükrösimítás és — bizonyos mértékig — a dörzscsiszolás.

A visszamaradó feszültségek megállapítására ma már a hazai vonalon is megfelelő módszerek és berendezések állnak rendelkezésre. A gépalkatrészek kopása, azaz élettartama szempontjából tehát a felületi rétegekben visszamaradó feszültségeknek igen lényeges befolyásuk van, azonban ezek a szab-

ványokban még nem jutnak kifejezésre. Ugyanis mind a hazai, mind a külföldi felületi érdességi szabványok csak a felületek *mikrogeometriájával* foglalkoznak, azonban a felületi réteg *feszültségi állapotára* nem térnek ki. Ennek ellenére amint az újabb kutatások bizonyítják a gépek minőségére, kopási viszonyaira és élettartamára a felületi rétegek állapota lényeges befolyást gyakorol. Így az elkövetkezendő kutatások és vizsgálatok feladata — a felületi igénybevételek mértékétől függően — annak a megállapítása, hogy a kérdéses gépalkatrész működő felületi rétegének milyen végső simító megmunkálást kell kapnia.

## II. A finommegmunkálások teljesítményének, ill. termelékenységének megítélése

A finommegmunkálások teljesítményét ugyanúgy, mint az egyéb forgácsoló megmunkálásokét is legjobban a percenként leválasztott anyagterfogat, ill. a  $V_f$  fajlagos forgácsteljesítménnyel lehet legjobban megítélni. Az utóbbi az 1 lőerővel egy perc alatt lemunkált anyagterfogatot adja meg. Ez az érték tükrösítésnél  $0,05 : 0,3 \text{ cm}^3/\text{Le min}$ , igen durva, nagyteljesítményű köszörülésnél pedig  $3 \text{ cm}^3/\text{Le min}$  értéket is elérhet. A megkívánt méretpontosság és felületi minőség szerint a gépek pontossága és a felhasznált kösűrűkorongok minősége szerint érhetők el az előbbi határok közötti közbeeső értékek. A részletes értékekre az egyes finommegmunkálási módok ismertetésénél kerül majd sor.

## III. Tükrösítés

Ezt a módszert a legpontosabb mérőeszközök, idomszerek felületeinek, igen pontos gépek alkatrészeinek stb., továbbá a legnagyobb méretpontosságot, alakhúséget és felületi minőséget megkívánó fémfelületeknek a végső simító megmunkálására használják. Tükrösítésnél két eljárás használatos: a *szabadszemcsével* és a *kötött, beágyazott szemcsével* történő megmunkálás. Az elsőnél rendszeren edzett, nagykeménységű felületek és a lágyabb szerszám közé vivő folyadékkal szabadon vezetik be a csiszoló szemcséket állandóan finomodó fokozattal. A szerszám és a munkadarab közötti relatív mozgás segítségével koptatják a szemcsék a megmunkálandó felületet. Kezdetben a nagyobb felületi egyenlőtlenségek lemunkálására nagyobb anyagterfogat leválasztása mellett durvább csiszolószemcséket és nagyobb viszkozitású vivő-kenő anyagot használnak. A méretpontosság fokozatos növelésével és a felületi minőség állandó javításával fokozatosan finomabb szemcsét és hígabb vivő folyadékot használnak.

A kötöttszemcsés tükrösítésnél a lágyabb szerszámfelületbe hengerlik a különböző finomságú csiszolószemcséket és így az anyag leválasztását a kiálló szemcsecsúcsok végzik. Ez a módszer kevésbé jó csiszolószemcse-kihasználással dolgozik, de bizonyos esetekben jobb a termelékenysége, mint a szabadszemcsés változatnak.

A gépi tükrösítésnél általában a szabadszemcsés módszert használják, de szemben a kézi tükrösítéssel, ahol a szerszám és a munkadarab között felületi érintkezés van, itt a hengeres felületek gépi tükrösítésénél az érintkezés csak vonalbeli. Ekkor a két tükrösítő szerszám közé helyezett munkadarabok részint gördülő, részint csúszó mozgást végeznek. Gépi síktükrösítésnél a munkadarabok és szerszámok között síkbeli érintkezés mellett meghatározott pályájú csúszó mozgást hoznak létre. A gépi tükrösítés termelékenységét a kézi tükrösítéssel szemben az növeli, hogy egyszerre több darabot munkálnak meg.

A tükrösítés teljesítménye — különösen a kézi tükrösítés legfinomabb fázisaiban — igen kicsiny, mert a leválasztott anyagtérfogat percenként a köbmilliméternek is csak tört része.

Tükrösítéssel tízezred mm pontossággal is lehet dolgozni és a kapott felületi érdesség mérőszáma az  $R_a \approx 0,005 \mu\text{m}$ -t is elérheti. Ez már olyan kis érték, hogy a szokásos gyémánt-tűs tapintóval dolgozó érdességmérő műszerekkel nem mérhető. Az alakhűséget sík felületeknél optikai síküveggel — az interferenciásíkok segítségével — lehet ellenőrizni. Ezeket az értékeket a mérőhasábok gyártásánál alkalmazzák. Ilyen pontosságokat természetesen csak állandóan 20 °C mellett légkondicionált helységekből lehet elérni.

A tükrösítés legújabb, nagyteljesítményű megmunkálásmódját fejlesztette ki a *Speed Fam Corporation*, amelynél lágy szerszámfelületek helyett edzett acélból készült felületet használnak. Így a szemcsék nem nyomódnak bele a szerszámba és jelentősen, nagyobb nyomást lehet alkalmazni, mint a szokásos tükrösítő eljárásnál. Ezzel a módszerrel még 0,25 mm anyagréteget is gyorsan és gazdaságosan lehet edzett acél munkadarabokról igen kis tűrés mellett lemunkálni.

Az új, nagyteljesítményű síktükrösítő gépek a kis méretektől a méteres nagyságrendű munkadarabokig alkalmasak a munkadarabok megmunkálására és ezekkel az eddigi munkaidőnek törtrésze alatt lehet 1 : 2  $\mu\text{m}/\text{m}$  határon belüli síkpontosságot elérni. Az így megmunkált felületek az ellendrabbal egymáshoz szorítva összetapadnak, hasonlóképpen mint a mérőhasábok. Tehát az alakpontosságon kívül még ezekkel a tükrösítő gépekkel a felületi érdesség kis értéke is biztosítható. Ezzel a módszerrel nagy gözelzáró felületek, valamint igen kis érdességi értékkel rendelkező csúszó felületek készíthetők el az eddigi hántolási idő törtrésze alatt.

A tükrösítés a hazai üzemekben elég ritkán kerül alkalmazásra. Ugyanis a finom mérőeszközök gyártása hazai vonalon még igen kis méretű. Egyes



motorgyárok a nagy méretpontosságot és fokozott felületi minőséget megkívánó dugattyúcsapszegek megmunkálásánál tükrösítést használnak. Azonban az újabb időkben ennél a végső simító megmunkálásnál a tükörsimításra tértek át.

#### IV. Tükörsimítás

Az 1930-as években végzett kutatások nyomán hebizonyosodott, hogy a régebben szokásos eljárással köszörült felületek bizonyos gépalkatrészek működési követelményeinek nem mindig felelnek meg. Ugyanis kiderült, hogy a vasúti kocsikban nagyobb távolságra saját kerekeiken szállított autók üzembehelyezéskor mormogó hangot adtak, amely a további használatban még tovább erősödött.

A vizsgálatok kiderítették, hogy a hosszú utazás alatt a terhelésnél fellépő rezgések következtében a golyóscsapágyak golyói a futógyűrűk felületeibe a felfekvési helyeken mintegy „bebrinelleződtek”. Amikor üzem közben a golyók ezekre a helyekre értek, a finom elmozdulás okozta a csapágyzajt. A további kutatások kimutatták, hogy a golyóscsapágyak felületi minősége nem volt megfelelő, mert a visszamaradó felületi egyenetlenségeket a terhelés alatt álló golyók a vasúti utazás alatt benyomták. Ebből következett, hogy a golyóscsapágyak futó felületeit finomabbra kellett megmunkálni, ami finomszemcsés alakos köszörűszerszámmal történt, amellyel a kiemelkedő felületi egyenetlenségeket lemunkálták és ezzel a zajt okozó jelenségeket megszüntették.

Ebből a jelenségből kiindulva kezdtek behatóan foglalkozni a felületi érdességi problémákkal és megállapították, hogy a felületi minőség javításával a csapágyfelületek közötti súrlódási munka igen jelentősen lecsökkenthető és a felfekvés százalékos értéke is lényegesen növelhető. Így el lehet érni, hogy a csapágyak teherbírása növelhető, valamint a gépek élettartama is — a kopás csökkentése következtében — növelhető. További kísérletek kimutatták, hogy szemben a kevésbé finomra munkált csúszófelületű motorokkal, amelyeknek a mechanikai hatásfoka 75%, tükörsimítással megmunkált csúszófelületű motoroknál  $90 \div 92\%$ -ot is elértek. Ez amellett, hogy igen jelentős tüzelőanyagmegtakarítást jelent, a motorok élettartamát is többszörösére növeli. De ennél az eljárásnál csak akkor lehet termelékeny munkát elérni, ha az alkalmazott jó minőségű köszörűszerszám jellemzői igen pontosan alkalmazkodnak a megmunkálandó anyag keménységéhez és minőségéhez. Ez esetben az autóiparban szokásos csapágyfelületek megmunkálása nem haladja meg az egy percet.

Az itt elért eredményekben igen nagy szerepet játszik, hogy a tükörsimítással megmunkált felületen már nincs a köszörülésből visszamaradt megsérült vagy kilágyult felületi réteg, valamint a visszamaradó feszültségek

is olyan kis értékűek, hogy igen kedvező kopási és súrlódási értékeket adnak. Ez egyszersmind a gépalkatrész jó minőségét és nagy élettartamát is biztosítja.

Ezt az eljárást a *Chrysler autógyár* fejlesztette ki és alkalmazásával az utóbbi években olyan eredményt ért el, hogy a gyártott autók a jótállását a motor és a hajtómű tekintetében öt évre, ill. 80 ezer km-re emelhette fel. Ezzel az üzleti fogással az utóbbi években az eladott autók számát 35%-kal sikerült megnövelni és ennek következtében mind a *Ford*, mind a *General Motors* az addigi egy évi, illetőleg 16 ezer km-es jótállását kénytelen volt a kétszeresére növelni. Ezt a külső felületek megmunkálására szolgáló eljárást az *európai autóipar* is nagymértékben alkalmazza. A hazai vonalon mind a *Csepel Autógyár*, mind a *Magyar Gördülőcsapágy Művek* az utóbbi időkben bevezette.

A tükörsimítás általában a felületi minőséget javító művelet, mert méretmegmunkálásra általában nem szokás használni. Ugyanis a pontos méretet az előző megmunkálási műveletnek kell biztosítani, mert ennél csak a visszamaradt felületi egyenlőtlenségeket távolítják el, amivel a munkadarab átmérőjét rendszeren csak néhány  $\mu\text{m}$ -rel csökkentik. Ennél a megmunkálásmódnál az időegység alatt lemunkált anyagterefogat kis értékű. Így pl. a  $80 \times 65$  méretű csapágy nál, ha átmérőben 0,004 mm-t munkálnak le, akkor 0,033  $\text{cm}^3/\text{min}$  a lemunkált anyagterefogat. De ez csak akkor lenne helytálló, ha tömör anyagot munkálnánk le. Minthogy azonban itt csak a kiálló felületi egyenlőtlenségeket munkálják le, így a kiszámított anyagterefogatnak csak  $\frac{2}{3}$ -a :  $\frac{1}{2}$ -e kerül lemunkálásra. Az elérhető felületi érdességi értékek tükörsimításnál  $R_a = 0,1 : 0,03 \mu\text{m}$ .

## V. Dörzscsiszolás

Ezt a műveletet az autómotorok hengerfuratainak a megmunkálására fejlesztették ki. Ugyanis az autómotor forgattyús szekrényeinek felső része a hengerfuratokat is magában foglalja és ezért az ilyen nagy, nehéz munkadaraboknak a megmunkálása olyan köszörűgépen, amelyen a munkadarab forog, nem volt megoldható. Így erre a célra az ún. *bolygórendszerű köszörűgépeket* fejlesztették ki. Ennél a géptípusnál a munkadarab áll és a köszörűkorong végzi a forgácsoló főmozgáson kívül mind a fogásvételi, mind az oldalirányú előtolási mellékmozgásokat. Ebből többszörös csapágyazási nehézségek következnek, amelynek következtében ilyen gépeknél még a legkedvezőbb viszonyok mellett is a szokásos automotor-hengerfuratméreteknél egy furat köszörülése 15 ÷ 20 percet vett igénybe. Az egyszerre több furat megmunkálása sem volt megoldható és azonkívül sem a kapott méretpontosság, sem alakhűség és felületi minőség az állandóan növekedő igényeket nem elégítette ki.

Ennél a műveletnél a megmunkálandó furatba annak átmérőjétől függően 3 : 8 köszörűrudat helyeznek el, amelyeket a megmunkálás folyamán fogásvétel céljából szét lehet feszíteni. Az alkalmazott sebesség, amellyel a dörzscsiszoló szerszámot a furatban forgatják és a furat teljes hosszának a befutására fel és le is mozgatják, a szokásos köszörülési sebesség  $1/40\text{-e} : 1/60\text{-a}$ . A fejlődött meleg, valamint a forgács elvezetésére és a forgácsoló szemcsék anyagleválasztásánál a sűrűdés csökkentésére hűtő-kenő folyadékot használnak. Ez régebben petróleum volt, de újabban erre a célra különlegesen kifejlesztett folyadékokat használnak. Ez a művelet igen termelékeny és mind a méretpontosság, mind a felületi minőség és alakhűség szempontjából kifogástalan furatok készítésére alkalmas.

Ha az előfúrt furatnál a ráhagyás nagy, akkor a dörzscsiszolást is két műveletre: nagyolásra és simításra osztják meg. A dörzscsiszolás arra is alkalmas, hogy az előmunkálásból eredő alakhibát: kúposágot és ovalitást is eltávolítsa. A termelékenysége olyan nagy, hogy az autógyártásban szokásos egy-két perces műveleti idővel a gépsorokba minden további nélkül beállítható, azonkívül a motorok hengerfuratától függően 4—6—8 furatot is lehet egyszerre megmunkálni.

Ennél a műveletnél nagyoláskor  $V_f = 0,7$ , simításnál pedig a kívánalmak szerint  $0,4 : 0,2 \text{ cm}^3/\text{Le}$  min értékek érhetők el. A simító dörzscsiszolásnál  $R_a = 0,12 \div 0,03 \text{ }\mu\text{m}$  felületi érdességi értékek tarthatók be.

Bár ezt a műveletet végső finommegmunkálásnak tartják, de ezzel  $32 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagterfogatot is le lehet választani, miközben a felületi érdesség és a mérettűrés kedvező értékeken tartható. Újabban  $1500 \times 12\,000$  furatot is megmunkáltak dörzscsiszolással, és épült gép 30 m hosszú löketre, 75 Le teljesítménnyel.

Megfelelő csiszoló anyag és hűtő-kenő folyadék, valamint megfelelően kialakított szerszámmal kézi dörzscsiszolással (melynél a munkadarabot vagy a szerszámot géppel forgatják és a tengelyirányú előtolást kézzel végzik) igen jelentős anyaglemunkálás érhető el. A *Sunnen Products Co.* tapasztalta, hogy  $25 \times 35 \text{ mm}$  méretű öntöttvas furat  $0,25 \text{ mm/perc}$  értékkel növelhető, ami  $0,35 \text{ cm}^3/\text{min}$  értéknek felel meg. Lágy acélnál ennek  $2/3\text{-a}$ , kemény acélnál pedig  $1/3\text{-a}$  érhető el.

Új kifejlesztés a *Micromatic Hone Corporation* csúcsnélküli dörzscsiszoló gépe, amellyel a fogaskerekek furata és egyszerre az egyik vagy mindkét homlokfelülete munkálható meg. Ezzel igen jó pontossági értékek érhetők el. Dörzscsiszolásnál — különösen az európai autógyártásban — igen elterjedt a gyémánt dörzscsiszoló szerszámok használata. Kezdetben csak öntöttvasat munkáltak meg, de ma már lágy és edzett acélt, sőt alumíniumot és sárgarezet is dörzscsiszolnak gyémánt szerszámmal. Ennél az alkalmazásnál a szerszám nagy élettartama a döntő, mert egy szerszámkészlettel közepesen  $30 \div 40$  ezer furat munkálható meg, középértékben  $0,05 \text{ mm-es}$  ráhagyással. A *General*

*Electric Co.* kísérletei szerint a gyémánt dörzscsiszoló szerszám különösen előnyös megszakított felületű és zsákfuratokban a  $\text{SiC}$ , valamint  $\text{Al}_2\text{O}_3$  anyagból készített szerszámokkal szemben, mert ez utóbbiak az ilyen furatok megmunkálásakor gyorsan tönkremennek. Érdekes, hogy az *Amerikai Egyesült Államokban* a kedvező európai tapasztalatok ellenére sem igen használják a gyémánt dörzscsiszoló szerszámokat. A *hazai vonalon* a gyémánt dörzscsiszoló szerszámok használata terjed és ezt elősegíti, hogy a *hazai Gránitgyár* is gyárt ilyen szerszámokat és azonkívül a *Szovjetunió* is szállít ilyen műgyémánt szerszámokat.

### 1. Fogaskerekek dörzscsiszolása

A fogaskerekek fogprofiljának dörzscsiszolása egyre szélesebb körű alkalmazásra talál az iparban. Az eljárás célja, hogy a hőkezelt, nagy felületi keménységű egyenes és ferdefogazatú hengeres fogaskerék fogazatának finomfelületi megmunkálásával javítsa a geometriai pontosságot és a felületi érdeséget. Termelékenység szempontjából messze felülmúlja az eddig ismert és alkalmazott fogaskerék finomfelületi megmunkáló eljárásokat és a fogaskerekek működése szempontjából optimális pontosságot és alacsony zajszintet ad.

Az eljárás az *Amerikai Egyesült Államokból* indult el az 1950-es évek közepétől. 1960 óta fokozatosan előtérbe kerül alkalmazása az iparilag fejlett országokban is, mint pl. a *Szovjetunióban*, Angliában, Franciaországban és a Német Szövetségi Köztársaságban. 1965-től foglalkoznak bevezetésével a KGST országok, köztük hazánk is, kutatva az alkalmazás feltételeit és eredményes bevezetésének lehetőségeit. Alkalmazási területe az eddigiek alapján a gépjármű- és szerszámgépiparban gyártott fogaskerekek megmunkálására terjedt ki. Fogaskerék-dörzscsiszoló gépet *Amerikán* kívül *Anglia*, a *Szovjetunió*, a *Német Szövetségi Köztársaság* és hazánk is gyárt. Ugyanez vonatkozik a különleges szerszámok tervezésére és gyártására is. A gépek és szerszámok lényegében azonos működési elven alapulnak, de konstrukciójukban, kivitelükben és főleg alkalmazásukban, ill. felhasználásukban igen eltérőek egymástól.

A dörzscsiszoló megmunkálás során a 180 : 240 mm külső átmérőjű szerszámot — amely egyenes vagy ferdefogazatú, köszörűszemcsés anyagú, műanyagkötésű fogaskerék — hézagmentes kapcsolódásba hozzuk a megmunkálendő fogaskerékkel úgy, hogy azzal csavarkerékpárt alkosson. E kitérő tengelyű szerszámmunkadarab kapcsolatnál az egyik elem a hajtó és — a foghántoláshoz hasonlóan — nem alkotnak zárt kinematikai láncot.

A forgácsleválasztás céljából a szerszámot a munkadarabbal radiális irányban, állandó nagyságú erővel (10 ÷ 45 kp-dal) rugalmasan összeszorítjuk, miközben az egyik elem csak a forgó, a másik pedig forgásán kívül — a teljes foghossz megmunkálása céljából — tengelye irányában haladó alternáló,

valamint e mozgásra szuperponálódó kis amplitúdójú kis frekvenciájú rezgőmozgást végez. E mozgások eredményeképpen keletkező profil- és foghosszirányú relatív csúszások következtében történik a jól szabályozható forgácsoló megmunkálás.

A forgácsolási (csúszási) sebesség  $1 \div 3$  m/sec értékű, ami lényegesen kisebb, mint fogköszörüléskor. A kis forgácsolási sebesség csökkenti — sőt a tapasztalatok szerint kizárja — a beégések, mikrorepedések, ill. a megmunkálás hatásaira a fogfelületen a felületi rétegben kialakuló igen káros húzó- és nyomófeszültségek megjelenésének valószínűségét. Ez a pillanatnyi — a dörzscsiszolás során létrejövő — csekély hőmérsékletek, valamint a fajlagos nyomások kis értéke és a bőséges petróleumos hűtés eredménye. Rendkívül előnyös az eljárás alkalmazása — a kis (max.  $3 \div 4$  perces) megmunkálási időn kívül — egyéb szempontokból is. A szerszám geometriája, ill. az alkalmazott köszörűszemese minőségének és méretének függvényében a  $0,2 \div 0,5$   $\mu\text{m}$  felületi érdességet jellegzetes zárt megmunkálási karcok biztosítják, amely karcokban az olajmolekulák jól el tudnak helyezkedni. További előny, hogy a dörzscsiszolás eredményeként a működő fogprofil felületét nem a burkoló sokszög, hanem a folyamatos görbefulület képezi. Ezek eredményeként nagyobb terhelés esetén is a kenőolajfilm megszakadását és ezzel a fémes érintkezés létrejöttét eleve kizárjuk. Ezáltal növekszik a fogaskerekek élettartama és csökken a működő zajszint. Az alkalmazott szerszám — élettartama folyamán (amely  $1000 \div 1500$  hengeres fogaskerék) — profilja mentén felújítást (élezést) nem igényel, csupán esetenként a gépre szerelt lehúzógyémánttal fejkörén kíván utánszabályozást, ami átmérőjének csökkenését eredményezi.

Dörzscsiszolással jelenleg külföldön max. 610 mm, belföldön max. 300 mm külső átmérőjű fogaskerekek munkálhatók meg. A 300 mm-nél nagyobb átmérőjű fogaskerekek megmunkálására függőleges, ez alatt pedig vízszintes munkadarab-szerszám tengelyelrendezésű gépeket fejlesztettek ki. A kifejlesztett szerszámok  $m = 2 \div 10$  mm modulusos fogaskerekek megmunkálására alkalmasak. A megmunkálás eredményeként — az előmunkálás minőségétől függően —  $2 \div 3$  fogaskerék pontossági osztállyal javul a minőség és a zajszint  $6 \div 8$  dB-lel csökken, a megmunkálás előtti állapothoz viszonyítva. Az amerikai autógyárak és a francia *Simca* autógyár évek óta eredményesen alkalmazza az eljárást. A szovjetunióbeli *ZIL Autógyárban* 21 fogaskerék-dörzscsiszoló van üzemben, hogy csak a legnagyobbakat említsük. Hazánkban a *Csepel Autógyár*, a *Szerszámgépipari Művek esztergagépgyára* és a *Vörös Csillag Traktorgyár* alkalmazza már fogaskerékgyártásban a dörzscsiszoló eljárást.

A külföldi eredmények és az igen gazdag hazai tapasztalatok alapján látható, hogy a fogaskerék-dörzscsiszolás alkalmazásának igen nagy távlatai vannak. Egyes esetekben teljesen helyettesíteni tudja a kisebb termelékenységgű fogköszörülést. Ez jelentős megtakarítást eredményez és gazdaságosságánál



fogva széleskörű elterjesztése fokozza általános vonatkozásban is a gyártott fogaskerek minőségét.

Az eljárás továbbfejlesztésére és alkalmazása szélesebb területre történő kiterjesztésére világszerte, így hazánkban is komoly kutatómunka folyik. Folyamatban van a kúpfogaskerek és a kismodulusos hengeres fogaskerek finomfelületi megmunkálásával kapcsolatos módszerek kifejlesztése. A termelékenység fokozása céljából újabb dörzscsiszoló szerszámtípusok vannak kifejlesztés alatt, amelyek lehetővé teszik a megmunkálási időnek a felére vagy akár az egynegyedére csökkentését.

## VI. Köszörülés

A finommegmunkálások között a köszörülésnek van a legnagyobb fontossága. Az alkalmazása igen széleskörű és fontossága a gépiparban állandóan növekszik. A fejlett ipari országokban az összes forgácsoló szerszámok kb. 20%-a köszörűgép. Az egyéb finommegmunkáló gépek száma a köszörűgépeknek csak  $1/20 \div 1/30$  része.

A hazai gépipar e vonalon nagyon elmaradott, mert a köszörűgépek az összes forgácsoló gépeknek mindössze 5%-át teszik ki. A *Kohó- és Gépipari Minisztérium* felismerve az iparban a köszörülés fontosságát, a fejlesztésre és kutatásra — az 1968 évtől kezdődő három évre — 19 millió Ft-ot irányzott elő. De ehhez számítandó még a vállalatok hozzájárulása, ami további komoly összeget tesz ki. A köszörülés elméleti alapjait a végzett kutatások és a szakirodalom szerint ma már tisztázták. Azonban még igen sok kísérletre és kutatásra van szükség, hogy a már tisztázott elméleti alapokat hogyan lehet a gyakorlati felhasználásra alkalmazni. Minthogy a köszörülés a legbonyolultabb forgácsoló megmunkálás, ezért igen sok változója van és a legtöbb tudományos szakikkben ismertetett kísérleti eredmények megismétlése a legtöbb esetben nem jár sikerrel, mert a kísérleti viszonyok közlésében a leggyakrabban hiányoznak igen lényeges adatok.

A köszörülés elméleti és gyakorlati összefüggéseinek egyik sokat vitatott kérdése az egy szemcsére eső ill. a közepes forgácsvastagság. Ennek az elméleti meghatározása elég egyszerű, ha a köszörűkorongban elhelyezkedő szemcséket mint szabályos golyókat fogjuk fel. Azonban a későbbi vizsgálatok kiderítették, hogy a gyakorlatban az elméleti szemceszámának csak mintegy  $1/20 \div 1/50$  része dolgozik. Ugyanis a valóságban a korongban elhelyezkedő szemcsék teljesen szabálytalanok és a forgástengelytől számított távolságuk is teljesen szabálytalan. Így érthető, hogy az elméleti értékhez képest sokkal kevesebb szemcse dolgozik. Ugyanis az egy szemcsére eső elméleti közepes forgácsvastagság a fogásmélységnek, a korongátmérőnek, a munkadarabátmérőnek, az elméleti szemcsetávolságnak és a fordulatonkénti előtolásnak

a korong szélességéhez viszonyított gyakorlati értékei mellett  $0,1-0,01 \mu\text{m}$  között változik. Ha tehát valamely szemcse csak  $1 \mu\text{m}$ -rel mélyebben van, mint a szomszédja, már nem vesz részt a forgácsoló munkában és így természetes, hogy a ténylegesen dolgozó szemcsék száma az elméletinek csak egészen kis törtrésze.

Egy további vitatott kérdés, hogy vajon az egyes köszörűszemcsék a köszörülés közben keletkező radiális erő következtében a kötőanyag rugalmas deformációja miatt köszörülés alatt elmozdulnak-e. Ez a jelenség is befolyással van az egy szemcsére eső közepes forgácsvastagságra. Itt a vélemények megoszlanak és a legújabb vizsgálatok a szemcsék köszörülés alatti rugalmas deformációját nem erősítették meg.

A legújabb kísérletek arra utalnak, hogy a köszörülés minőségére, termelékenységére és gazdaságosságára a rezgési jelenségek igen lényeges befolyást gyakorolnak. A rezgési jelenségek igen nagy mértékben függvényei a kísérletnél felhasznált gép szerkezetének és kivitelezési technológiájának. Ezekre pedig a kísérletek adatainak közlésénél legtöbbször semmi utalás sem található. A legújabb kutatási irányok most kezdik figyelmüket ezekre a jelenségekre fordítani.

Minthogy az egy szemcsére eső forgácsvastagság igen kis értékű, ezt még lényegesen befolyásolják a köszörülésnél jelentkező rezgési jelenségek is. Köszörülésnél ugyanis kétfajta rezgés keletkezik. Az *elsődleges* vagy *alaprezgés* egyensúlyhibából adódik és így a frekvenciája megegyezik a korong fordulatszámának frekvenciájával, az amplitúdója pedig az egyensúlyhiba mértékétől és a rezgő tömeg nagyságától függ. Köszörülés közben azonban még *öngerjesztett rezgések* is fellépnek, amelyek részint a korong, részint a munkadarab inhomogenitásából keletkeznek. Ezek következtében mind a korongon, mind a munkadarabon hullámosság következik be. Ezeknek a másodlagos rezgéseknek a frekvenciája az elsődleges rezgéseknek a többszöröse, az amplitúdója pedig a tömegviszonyoktól és a csapágyhézag méretének csillapító hatásától függ.

Ezekkel a jelenségekkel kapcsolatos kutatások igen komoly rezgéselméleti tudományos felkészültséget és rezgésvizsgálati műszerfelszerelést kívánnak meg.

A köszörülésnél fellépő rezgésekkel igen részletesen foglalkoznak az ENIMSZ-ben, azonkívül még sok tudományos és kutatóintézetben. Így pl. ezeket az Angliában évenként tartott *Szerszámgép Tervezési és Kutatási Konferenciákon* (Machine Tool Design and Research Conference, röviden *MTDR*, valamint *CIRP* konferenciákon) többszörösen megvitatták.

Az 1965. évi *MTDR* konferencián SWEENEY, valamint PAHLITZSCH és CUNTZE ismertette az ezzel kapcsolatos kutatásaik eredményeit. Az utóbbi olyan készüléket is szerkesztett, amelynek segítségével a munkadarabnak a másodlagos rezgési frekvenciának és amplitúdójának megfelelő ellenirányú

impulzusokat adtak és ezzel igyekeztek az alakhibát, valamint a felületi érdességet megjavítani.

NICOLA TODOROV az *ENIMSZ* kísérleteire támaszkodva úgy javította meg köszörülésnél a rezgésekből fellépő alakhibát és felületi érdességet, hogy köszörülés közben a köszörűkorong fordulatszámát kis határok között változtatta. Ezzel a bizonyos korong és munkadarab fordulatszám-viszony mellett a korongon és munkadarabon keletkező hullámosságot némileg elsimította.

Az elsődleges rezgés amplitúdóját gondos kiegyensúlyozással ki lehet küszöbölni, a másodlagos rezgéseket pedig igen pontosan és kis hézaggal futó korongorsó-csapágyazással olyan kismértékűre lehet csökkenteni, hogy mind alakhűségi, mind felületi érdességi vonalon a később ismertetett kedvező értékek érhetők el.

A kenéssel és súrlódással kapcsolatban végzett kutatások kimutatták, hogy az ún. vékony film kenés esetén 10 olajmolekula méretének megfelelő térközben, azaz  $0,025 \mu\text{m}$ -nél a kenési és elmozdulási viszonyok fenntarthatók. Ehhez természetesen megfelelő alakpontosság és felületi érdességi érték szükséges. Ebből következik, hogy még hidrodinamikus kenés esetén is tized  $\mu\text{m}$  nagyságrendű hézaggal is lehet csapágyat készíteni. A jelenlegi technológiai gyakorlat ezt az értéket még nem érte el.

Az újabb időkben a tükörsimítás és dörzscsiszolás eredményeinek előtérbe kerülése a köszörűgép és köszörűszerszám gyárakat arra ösztönözte, hogy javítsák a köszörüléssel elérhető méretpontosságot, felületi minőséget és alakhűséget. Ennél a fejlesztési munkánál általában két főirány mutatkozik. Az első a *köszörűgépek minőségének növelése*, a másik a *növelt sebességű köszörülés* nyújtotta előnyök kihasználása. Igaz, hogy ez utóbbinál sem lehet figyelmen kívül hagyni a minőségi követelmények kielégítését.

A köszörűgépek minőségi fejlesztésével jelenleg elérték, hogy 25-ös szemcsenagyságú (a régi jelzés 80) alumíniumoxid anyagból készített jó minőségű kerámiai kötésű köszörűkoronggal kiváló minőségű köszörűgépen  $1 \mu\text{m}$  méretpontosság mellett üzemszerűen  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$  felületi érdességi érték érhető el. De végső esetben egész finom szemcsenagyságú *F 28* (régi jelzés 500) koronggal  $R_a \div 0,01 : 0,02 \mu\text{m}$  érték is tartható. Az alakhiba is az elméleti körhöz viszonyítva  $0,1 \mu\text{m}$ , sőt még ennél is kisebb értéken belül volt.

### 1. A köszörűgépek csapágyazásának fejlesztése

Köszörülésnél, mint a leghonyolultabb forgácsolási eljárásnál a leválasztott elméleti forgácsvastagság  $0,1 : 0,01 \mu\text{m}$  között van, de a valóságos érték is ritkán éri el az  $1 \mu\text{m}$ -nél nagyobb értéket, így nyilvánvaló, hogy jó köszörülési munka csak igen pontosan futó köszörűkoronggal érhető el. Ez a feltevés csak nagyon pontos és nagy alakhűségű fokozott felületi minőségű köszö-

rúrorsóval érhető el, amely a lehető legkisebb csapágyhézaggal fut. A gyakorlat bebizonyította, hogy köszörűgépeknél a szokásos hidrodinamikai csapágyazás, amelynél a hézag viszonylag elég nagy és a csap a csapágyban a terheléstől és a fordulatszámától függően excentrikusan helyezkedik el, nem vezethet kielégítő eredményre. Ezért tértek át már az 1930-as években köszörűgépeknél a *szegmens (Mackensen) csapágyakra*. Ennél a megoldásnál a jellegzetes hidrodinamikusan kifejlődő egyetlen olajék helyett  $3 \div 6$  olajéket alkalmaznak és így a csapnak a csapágyban a fordulatszámától és a terheléstől függő excentrikus helyzetét megszüntették.

A több olajékes megoldás ugyanis a csapnak a csapágyban a fordulatszámától és terheléstől függő elmozdulását megszünteti, mert a forgástengelyt pontosan rögzíti igen kis csapágyhézag mellett. Az ilyen csapágyazás mechanikai hatásfoka  $0,6 \div 0,7$ , és bizonyos idő után éri el a stacioner állapotot meghatározott hőfokon, amikor a köszörűkorong-orsó pontos futását biztosítja. Ennél a megoldásnál elengedhetetlen feltétel a lehető legkisebb alakhibás és jó felületi minőségű csap. A csapágy-szegmensek ugyanis rendszeresen beállítható elrendezésűek.

A további kutatások azonban kimutatták, hogy még ilyen csapágyazás esetén is, talán inkább az elkészítési pontatlanságok következtében, köszörülés közben rezgések lépnek fel. Ezek a köszörült felület alakhűségére és felületi minőségére döntő befolyással vannak, amint ezt már előzőleg kifejtettük.

Az *elsődleges rezgés* a forgó alkatrészek és a korong gondos kiegyensúlyozásával olyan mértékig szüntethető meg, hogy a rezgés amplitúdója  $0,1 \mu\text{m}$ , sőt ennél kisebb értékű is lehet.

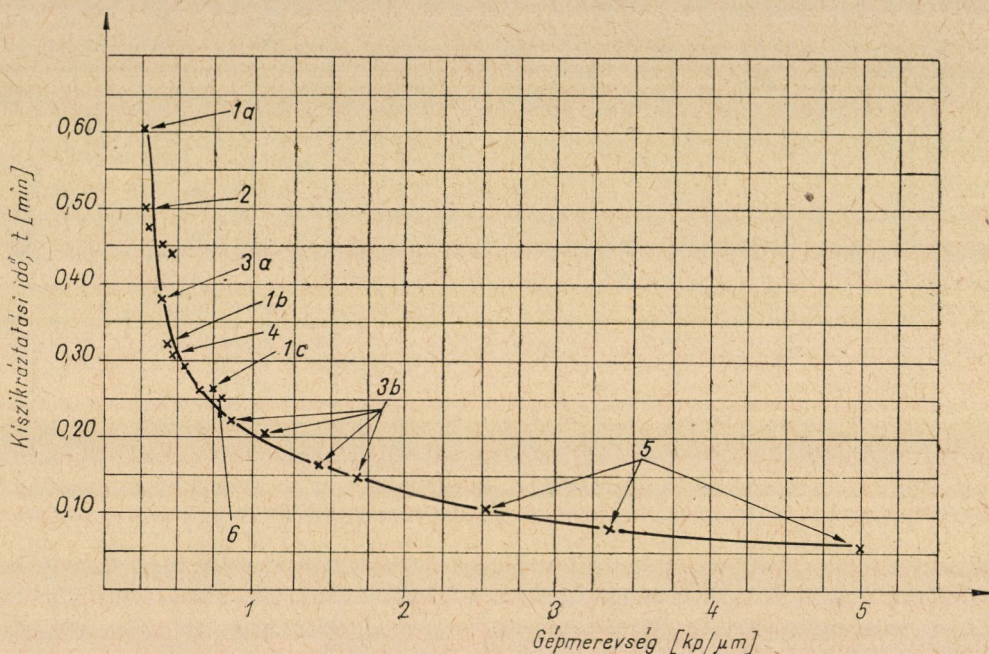
A *másodlagos rezgéseket*, ha teljesen nem is lehet megszüntetni, de megfelelő módszerekkel igen kis értékre szoríthatók le. Ez olyan csapágy-megoldások kifejlesztéséhez vezetett, amelyeknél a csapágyhézag az elérhető legkisebb, hogy ezzel a másodlagos rezgések amplitúdója csak igen kis méretű lehessen. Ilyen csapágy-megoldást fejlesztett ki a *Brown & Sharpe* gyár a hidrosztatikus köszörűgép csapágyazásával. Ennél a csap igen kis hézag mellett kb.  $10\text{--}15$  at nyomású olajban fut, és ha fellép valamely központhól kitérítő erő, ez a csapágy különböző olajszakjaiban nyomáskülönbséget hoz létre, ami a csapot újra a központhoz tereli vissza.

Az ilyen csapágyazásnál még nagy erő esetén sincs a központhól nagyobb kitérés, mint kb.  $0,05 \div 0,1 \mu\text{m}$ . Ez igen merev köszörűorsó-megoldást eredményez és azt központosan tartja mind állandó, mind lökettető erőhatás esetében, és így a munkadarab köralak-hibája  $0,25 \mu\text{m}$  fölé nem emelkedik. Az a tapasztalat, hogy az ilyen csapágyazásoknál javul a korong éltartama és nagyobb igénybevételekkel lehet dolgozni anélkül, hogy káros rezgés, azaz csattogás lépne fel.

Nem elég azonban a rezgések csökkentése szempontjából csupán a köszörűorsó csapágyazásának a merevsége, hanem az egész köszörűgépnek



kellő merevségűnek kell lennie. Erre igen jól rámutat a svéd *Slipmaterial-Naxos* köszörűszerszám gyár kutatólaboratóriumának kísérlet-sorozata. Ugyanannál a munkadarabnál ugyanazon felületi érdességi érték eléréséhez a kis merevségű  $0,3 \text{ kp}/\mu\text{m}$  köszörűgépen  $0,6$  perc kiszikráztatási idő szükséges, szemben a  $2,5 \text{ kp}/\mu\text{m}$  merevségűvel, ahol ennek csak  $1/6$  része kell (1. ábra).



1. ábra. A kiszikráztatási idő változása megadott felületi érdességi érték elérésére a köszörűgépek merevségének a függvényében, a *Slipmaterial-Naxos* kísérletei nyomán (az ábrán feltüntetett szám- és betűjelek a kísérletnél használt köszörűgépre vonatkoznak)

A kísérletek azt is kimutatták, hogy ugyanazon gyártmányú gépek különböző egyedei között is számottevő merevségi eltérések voltak.

A *Brown & Sharpe* gyár köszörűgépeinél a köszörűorsó és a hasonló csapágyazású munkadarab-orsó futáspontossága  $0,1 \mu\text{m}$  körül van. Ilyen értékek mellett természetesen nem helyeselhető, hogy a hazai köszörűgép-pontossági szabványban a köszörűorsó futáspontosságára  $5 \mu\text{m}$  a megengedett ütés.

Tulajdonképpen nem az a baj, hogy a szabvány  $5 \mu\text{m}$  ütést enged meg, mert más országok köszörűgép-pontossági szabványai is ilyen értékeket adnak meg, hanem az, hogy a hazai köszörűgépek ezt az értéket is tartják. Ezzel szemben a zajmentes golyóscsapágyaknál a golyópályák alakhibájára az előírás maximálisan  $0,4 \mu\text{m}$ , amelyet  $5 \mu\text{m}$  futáspontosságú köszörűorsóval nem valószínű, hogy be lehet tartani.



A másik nagy futáspontosságú csapágyazási megoldás, amellyel a *Taft-Pierce Manufacturing Co.* igen jó eredményeket ért el, a különleges pontosságú golyóscsapágyazás. Végül a svájci *Studer Kőszörűgépgyár* olyan hidrodinamikus csapágy-megoldást fejlesztett ki, amelynél szintén igen kis csapágyhézaggal fut a kőszörűorsó csapja és az ilyen építésű géppel érték el az előzőleg említett nagy méretpontosságot, kiváló felületi minőséget és nagy alakhűséget.

Az ilyen nagy pontosságú kőszörűorsó-csapágyazások előállítása még a *Német Szövetségi Köztársaság* kőszörűgépgyáraiban sem kielégítő. A hazai vonalon e területen még nagy hiányosságok vannak. A legjobb eredményeket eddig a *Csepeli Szerszámgépgyárban* az angol *Matrix* licencia alapján gyártott kőszörűgépeknél érték el. A hidrosztatikus csapágyazás és vezetékkialakítás tette még lehetővé a gördülőcsapágy-iparban a legújabb időkben elterjedt teljesen új elvek szerint ellenőrzött erővel működő furatkőszörűgépek felépítését. Ezeknél a *Heald Machine Co.* gyártású gépeknél nem a fogásmélységet, hanem a radikális kőszörülő erőt tartják állandó értéken és ez a majdnem súrlódás nélkül működő hidrosztatikus keresztcsán-ágyazással oldható meg. A gyenge kőszörűorsó a radiális erő hatására kihajlik, amit a kőszörűorsó szögbeállításával ellensúlyoznak.

## 2. Növelt sebességű kőszörülés

A nagy pontosságú kőszörűgép csapágyazásával a szokásos  $30 \div 35$  m/sec korongsebesség mellett is elérhetők az ismertetett eredmények, a kőszörülési munka minőségének, termelékenységének és gazdaságosságának növelésére viszont igen jelentős eredmények érhetők el a növelt sebességű kőszörüléssel. A jelenlegi tapasztalat szerint általában a kőszörűkorongok forgácsolóképessége megközelítően a korong kerületi sebességének a négyzetével arányos. Ezért nyilvánvaló, hogy már kisebb mértékű sebességnöveléssel kőszörülésnél jelentős eredmények érhetők el.

Kőszörülésnél a nagy sebesség következtében igen jelentős a melegfejlődés, amelyet a megolvadt forgácsok szikrázása is bizonyít. A növelt sebességű kőszörülésnél úgy képzelhető el, hogy a fejlődött nagyobb meleg miatt könnyebb a forgácsleválasztás. Ezt a növelt sebességnél a csökkenő radiális és tangenciális irányú forgácsolóerő is bizonyítja. Ebből következően kisebb a forgácsoló erő okozta lehajlás, ami a nagyobb pontosságot mozditja elő, azonkívül a fajlagos korongelhasználódás is csökken, ami a korong éltartamát és élettartamát növeli meg. Az amerikai *Norton* gyár azzal propagálja a növelt sebességű kőszörülést, hogy különben a kisebb sebességgel azonos viszonyok mellett a felületi érdesség legalább a felére, az alakhiba pedig a tizedére csökken (a *Norton* gyár növelt sebességgel dolgozó kőszörűgépe golyóscsapágyas kivitelű).

A többi forgácsoló eljárásnál, nem is említve a gyorsacél-szerszámok bevezetését, a keményfém és kerámiai anyagból készített szerszámokkal a forgácsoló sebesség többszörösét lehet elérni, amivel szemben a köszörülésnél igen sokáig fennmaradt a hagyományos 30–35 m/sec kerületi sebesség alkalmazása. Ennek oka jórészt abban keresendő, hogy a kerámiai kötésű korongok szilárdsága biztonsági okokból régebben nem engedett meg nagyobb sebességet. Ugyanis már a 30 m/sec sebességgel dolgozó korongok üzemi közbeni szétrobbanása is igen súlyos baleseteket okozhat.

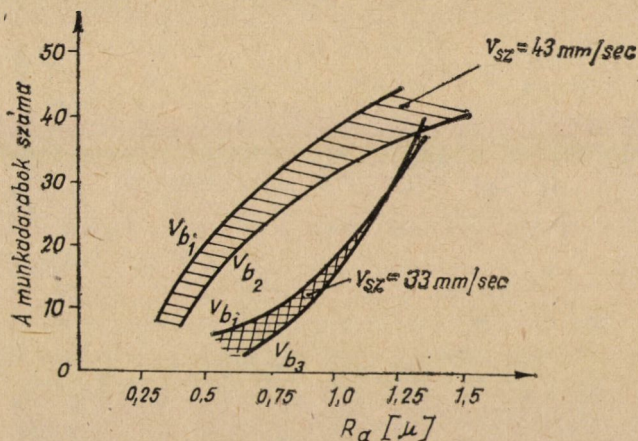
A Szovjetunióban már az 1950-es évek elején rátértek a nagyobb sebességű kerámiai kötésű köszörűkorongok gyártására és a növelt sebességű köszörülést sikeresen alkalmazták. 1957-ben a leningrádi *Iljics Köszörűszerszámgyár* termelésének 20%-a 50 m/sec kerületi sebességgel dolgozó korong volt. Ez meghaladta a hazai teljes köszörűszerszámgyártás akkori összes mennyiségét.

Azóta különösen a *Német Szövetségi Köztársaságban* is komoly kísérleteket végeztek a növelt sebességű köszörülés alkalmazásának céljából mind az erre alkalmas köszörűgépek, mind a köszörűkorongok kifejlesztésére. Ma már a legtöbb ottani köszörűgépgyár 60 m/sec sebességre alkalmas köszörűgépeket gyárt és az 1968. június havában tartott aacheni *Szerszámgép Konferencián* 10 mm széles kerámiai kötésű köszörűkoronggal 120 m/sec sebességű köszörülést mutattak be. A korongot a *Guillaume Werk*, heueli nyugatnémet cég szállította. A västerviki svéd *Slipmaterial-Naxos* köszörűszerszámgyár 80 m/sec sebességig szállít kerámiai kötésű köszörűkorongokat.

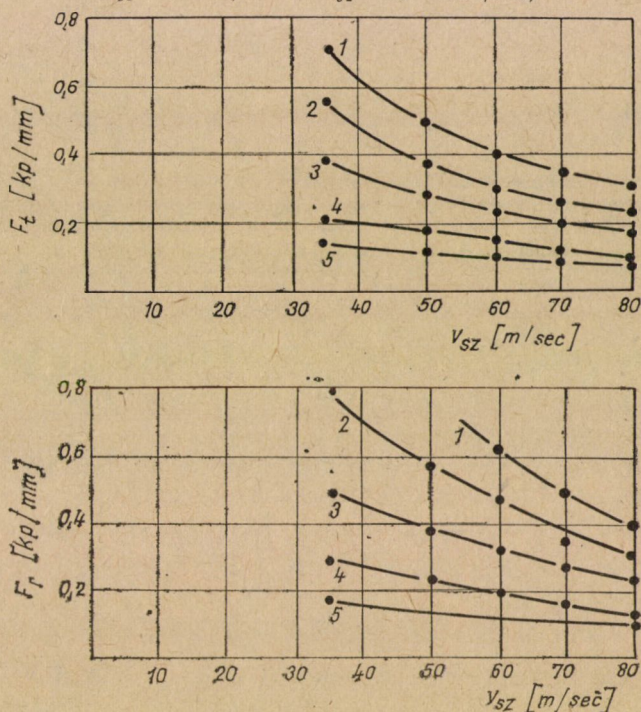
Érdekes, hogy az amerikai köszörűkorong-gyárak a szakirodalomban igen hosszú ideig a növelt sebességű köszörülés ellen foglaltak állást és csak az utóbbi években tért rá a *Norton* gyár a 61 m/sec sebességgel dolgozó köszörűkorongok és köszörűgépek gyártására. Ezt azzal indokolják, hogy az *Amerikai Egyesült Államok* biztonsági előírásai sokkal szigorúbbak, mint az európaiak, azonkívül az ott gyártott nagyteljesítményű és nagyméretű korongokkal a szokásos sebesség mellett is igen jó termelékenységi eredményeket értek el, amelyhez járult még, hogy az ottani köszörűgépek motorteljesítménye többszöröse az európaiaknak. Így a fokozott sebességű köszörülésre való áttérés kevésbé volt indokolt.

A növelt sebességű köszörülés nagy előnye, hogy a szokásoshoz képest különben változatlan viszonyok mellett a felületi érdesség értéke kb. a felére csökkent, amint ezt a 2. ábra *Champetier* kísérletei alapján bizonyítja. Ennek eredményeképpen gyakran elmaradhat a simító köszörülési művelet, mert a nagyolás végéhez csatlakozó néhány simító fogással az előírt felületi érdességi érték biztosítható. Továbbá kellő hajtóerő-teljesítmény mellett a gépi munka ideje is a felére, sőt még ennél is kisebb értékre csökkenthető.

Növelt sebességű köszörülésnél mind a radiális, mind a tangenciális erő csökken, amint *STRUNCK* kísérletei alapján a 3. ábra igazolja. Itt meg kell jegyezni, mint az ábrán is látható, hogy a szakirodalomban ismert kísérle-



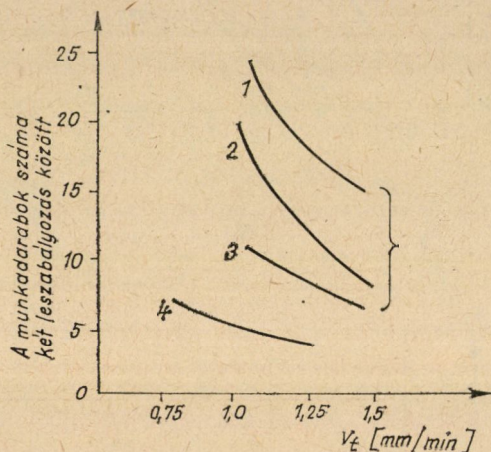
2. ábra. Kőszörüléskor a felületi érdesség változása a kőszörűkorong  $v_{sz} = 43$  és  $33$  m/sec sebességénél beszurókőszörüléskor különböző  $v_b$  [mm/min] beszurási sebességek és  $n_l = 100$ /min munkadarab-fordulatszámánál; CHAMPETIER nyomán (a vonalkázott diagramnál  $v_{sz} = 43$  m/sec,  $v_{b1} = 1$  mm/min és  $v_{b2} = 1,5$  mm/min; a kereszt-vonalkázású diagramnál  $v_{sz} = 33$  m/sec,  $v_{b1} = 1$  mm/min és  $v_{b2} = 1,25$  mm/min)



3. ábra. A  $F_r$  radiális és  $F_t$  tangenciális forgácsoló erők változása különböző  $v_{sz}$  korong kerületi sebességek függvényében különböző  $z'$  [mm<sup>3</sup>/mmsec] a kőszörűkorong 1 mm szélességére 1 másodperc alatt lemunkált különböző anyagterfogatoknál; és a korongátmérő  $D = 350$  mm, a szemcse nagyság 32, a szemcseminőség KA (nemes korund), a korongkeménység J, a munkadarab anyaga C 45 acél, a munkadarab-átmérő  $d = 70$  mm; STRUNCK kísérletei nyomán ( $z'$  értéke az 1 görbénél  $2,93$  mm<sup>3</sup>/mm sec, a 2 görbénél  $2,198$  mm<sup>3</sup>/mm sec, a 3 görbénél  $1,465$  mm<sup>3</sup>/mm sec, a 4 görbénél  $0,732$  mm<sup>3</sup>/mm sec és az 5 görbénél  $0,365$  mm<sup>3</sup>/mm sec)



teket általában kisteljesítményű gépeken végzik. A 3. ábrán a köszörűkorong 1 mm szélességére eső, 1 másodperc alatt lemunkált anyagtérfogat közepesen  $z' = 2 \text{ mm}^3/\text{mmsec}$  értéken mozog. Más kísérleti adatok is ritkán érik el a  $z' = 6-8 \text{ mm}^3/\text{mmsec}$  értéket. Ezzel szemben a svéd *Slipmaterial-Naxos* gyárban lefolytatott kísérleteknél  $z' = 36 \text{ mm}^3/\text{mmsec}$  érték szerepel 66 m/sec korongsebességnél.



4. ábra. A köszörűkorong éltartamának változása  $v_{sz} = 43$  és  $33 \text{ m/sec}$  kerületi sebességnél a  $v_b$  [mm/min] beszuró sebesség függvényében különböző  $n_t$  tárgyfordulatoknál, CHAMPETIER kísérletei nyomán (az 1 görbénél  $v_{sz} = 43 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 130/\text{min}$ ; a 2 görbénél  $v_{sz} = 43 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 180/\text{min}$ ; a 3 görbénél  $v_{sz} = 43 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 65/\text{min}$ ; a 4 görbénél  $v_{sz} = 33 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 50-100/\text{min}$ )

Végül növelt sebességű köszörülésnél a köszörűkorong-költség mintegy 40%-kal csökkenthető a megnövekedett éltartam következtében, amint ezt Champetier kísérletei alapján a 4. ábra igazolja.

A növelt sebességű köszörülésnél természetesen nehézségek is lépnek fel, amelyeket a kapott előnyök miatt el kell hárítani. A nagyobb sebesség következtében növekszik az elvezetendő meleg, tehát erősebb hűtésre van szükség, amit az is megnehezít, hogy nagyobb sebesség mellett a korong körül levegőgyűrű képződik. Ezt csak nagyobb hűtőfolyadék-nyomással lehet legyőzni. Természetesen a növelt sebességnél a kiegyensúlyozásra nagy gondot kell fordítani és megfelelően kialakított csapágyazást és kenést kell alkalmazni.

A növelt sebességet igen sikeresen alkalmazzák a köszörüléssel végzett darabolásnál, ahol 80, sőt újabban már  $100 \text{ m/sec}$  sebességgel dolgozó korongokat használnak. Ugyancsak  $60$  és  $80 \text{ m/sec}$  sebességű korongokkal dolgoznak az acélművekben az ötvöztött acélbugák köszörülésénél. Mivel ezek nem tartoznak a finommegmunkálások közé, ezért ezek részletesebb ismertetésétől eltekintünk.

Növelt sebességű köszörülés alkalmazásában a hazai gyárainkban nagy az elmaradottság, csupán egy-két gördülőcsapágy-gyárban alkalmazzák. A hazai *Gránit Köszörűkorong Gyár* kifejlesztett 50 m/sec sebességre alkalmas kerámiai kötésű korongokat. Azonban jelenleg még a hazai ipar főleg a *Tyrolit* gyártású fokozott sebességre alkalmas korongokat használja.

### 3. Csúcsnélküli köszörülés

A híd típusú csúcsnélküli köszörűgépeknél mind a köszörű-, mind a továbbító korongot mindkét oldalon csapágyazzák, ily módon tízszer nagyobb a korongok merevsége az egyoldalon befogott korongokkal szemben. Ez nagy teljesítmény és széles korongok használatát teszi lehetővé, miáltal kellő pontosság mellett nagy anyagtérfogat lemunkálás érhető el (pl.  $25 \varnothing \times 50$  mm méretű öntöttvas szelepemelőknél 2,5 mm-t munkálnak le, azaz  $250 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagot választanak le  $100 \div 125$  Le teljesítménnyel).

Ugyanekkora anyagleválasztás érhető el nagyméretű öntöttvas hengerek köszörülésénél a *Landis* 200 Le teljesítményű gépeken két  $915 \varnothing \times 76$  koronggal. A hengerek  $68 \div 84$  scleroscop-keménységűek és öntés után a munkadarabokat tisztán köszörüléssel munkálják meg. E műveletnél is  $250 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagot választanak le, ami 117 kg/óra anyaglemmunkálást jelent.

A csúcsnélküli köszörülés igen nagy előnye, hogy a továbbító korong nagy merevséggel tökéletesen támasztja a munkadarabot, ellentétben a csúcsok közti köszörüléssel, melynél hosszú munkadarabok köszörülésekor a köszörülési nyomás ellensúlyozására lünettát kell alkalmazni.

## VII. Csiszolószalag

A köszörűkorongoknak újabban erős versenytársa akadt még a pontos köszörülési munkáknál is a csiszolószalagokban. A szalagköszörülés különösen rudak simító megmunkálásánál terjedt el leginkább  $38 \varnothing$  mm alatti méreteknél. De újabban a rudak köszörülésnél  $305 \varnothing$  mm-ig is felmennek négy fejű berendezéssel, amelyen 200 mm széles szalagokkal dolgoznak fejenként 60 Le-vel és  $82 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagot választanak le. A *Carborundum Co.* tapasztalatai szerint a rudak köszörülésénél megkétszereződött a leválasztott anyag-mennyiség és a felszerelési idő is csökkent. Az alakhűséget és mérettűrést szalagköszörüléssel egy áteresztésben megkapták, holott a csúcsnélküli, korongos köszörülésnél erre a munkára két áteresztésre volt szükség. Természetesen az ilyen szalagköszörű-munkáknál a szalag sebessége  $30 \div 35$  m/sec volt. Szalaggal köszörülik a fémes és nemfémes hengereket, kéregöntésű, műanyag, acél és alumínium, valamint a króm és nikkel lemezeket.

Újabban áttértek a vékony szalagok használatára (pl. ipari szárítókat  $1500 \times 3000$  mm méretnél csak 100 mm széles szalagokkal köszörülik. Ugyan-



csak előtérbe került szalagokkal a beszúrásos köszörülés is és ekkor a megmunkálás órák helyett csak perceket tesz ki. Egy *Le Blond* típusú esztergára 2080 mm szélességű szalagköszörű-berendezést szereltek fel 150 lóerős motorral. Ezzel 630 Ø mm hengereket köszörültek  $0,0125 \div 0,07$  mm/fordulat fogással. Az ilyen szalagok termelékenysége nagy, mert jelentősen növelt fogásmélységgel dolgoznak.

Ma már gyémántszemcsés szalagokat is használnak. Erre az *Amerikai Egyesült Államokban* szerzett tapasztalatok szerint igen alkalmas a *General Electric Co.* által gyártott mesterséges gyémántszemcse.

A hazai iparban a szalagköszörülést alig használják, pedig mind termelékenységnövelés, mind gazdaságossági szempontból a bevezetése és alkalmazása igen kívánatos.

### VIII. Fogaskerék-köszörülés

E művelet termelékenysége igen megnőtt a *Reishauer*-féle csigakorongos fogaskerék-köszörüléssel, amely a régi eljárás hat-nyolcszorosát is eléri. Az *Amerikai Egyesült Államokban* licencia alapján ezeket a gépeket a *Fellows* gyár gyártja. A korong leszállóvezetését alakos gyémántgörgő helyett kis darabszámoknál gazdaságosabb egyetlen gyémánttal végezni. Ezenkívül még azt a tapasztalatot is szerezték, hogy durvább szemcséjű korongok használata sem a pontosságot, sem a felületi minőséget károsan nem befolyásolja, viszont a termelékenység jelentősen növekszik. Így a szemcsenagyságot 12-ről 25-re (a régi jelzés szerint 140-ről 80-ra) lehetett növelni. A másik előny még ennél a gépnél, hogy a köszörülési sebességet 50%-kal csökkenteni lehet ha *T-15* szupergyorsacélt vagy más nehezen köszörülhető anyagot kell megmunkálni.

Az a felfogás, hogy fogaskerék-köszörülést csak edzett anyagoknál mint végső simító megmunkálást célszerű alkalmazni. Ezzel szemben kiderült, hogy pontos fogaskereknek gyártásánál még lágyacél fogaskerekéknél is néha gazdaságosabb a fogakat teliből köszörülni, mint marni vagy gyalulni (pl. erősen ötvöztött krómnikkel-acél fogaskerekéknél 32 óráig tartott a fogazás a régebbi módszerekkel, a köszörüléssel ugyanaz a munka nagyobb pontossággal 4 óra alatt készült el).

### IX. Nagyteljesítményű köszörülés

Még a nagyteljesítményű köszörülési munkákat is a finommegmunkálások közé lehet sorolni, mert nagy anyaglemunkálás mellett mind a nagy pontosság, mind a jó felületi minőség biztosítható. Erre az első példa, hogy a *General Electric Co.* gőzturbina és hajtómű gyárában a közepes méretű gőz-

turbina és hajtómű házak osztófelületeinek megmunkálására 7000 mm átmérőjű forgó asztalú köszörűgépet készítettek 3000 mm átmérőjű szegmenskoronggal és 250 Le teljesítménnyel. Ezzel a géppel a régebben alkalmazott marás és hántolás helyett a munkadarabok osztófelületeit egynegyed idő alatt munkálták meg tisztán köszörüléssel, és a hántolás elmaradhatott, mert a köszörült felület anélkül is tökéletesen tömített.

Mint látható, nagy felületek lemunkálására a forgóasztalú szegmenskorongos köszörűgépek kerültek előtérbe. Így pl. *Blanchard* 150 Le 1225—2450 mm átmérővel és 125 lóerős 1070 : 2150 mm átmérővel. Az utóbbi géppel 180 perc alatt munkálták meg azt a felületet, amelynek a gyalulásához 320 percre volt szükség. Itt anyagmegtakarítás is volt, mert 1,6 mm-rel kevesebb anyagot kellett lemunkálni, mint gyalulással. A használt köszörűszegmensek durva szemcséjűek és *G* keménységűek voltak. A kezdeti fogásmélység 1,5 mm volt, amelyet 0,5 mm-re csökkentettek, ha már a felületen meg volt a teljes érintkezés. A kívánt méret és felületi minőség elérésére kiszikráztatás után a szegmenseket leszabályozták és az utolsó néhány századmilliméter lemunkálására a végső fogásmélységet 0,01 mm-re csökkentették. Ennél a műveletnél a köszörűkorong jósági foka 25 volt.

Szintén nagymérvű forgóasztalos köszörűgépet használtak egy másik gyárban, amikor egy 7 tonnás *Ni-Hard* öntvény minden oldaláról 13 mm-t kellett lemunkálni a 250 lóerős *Mattison* 160 típusú köszörűgéppel.

Hosszú munkadarabokat ide-oda mozgóasztalú géppel munkálnak meg egészen 6,35 mm oldalankénti anyaglemunkálással. A 125 lóerős *Thompson* gépen több mint 1 t súlyú szerszámgépágyakról 500 mm átmérőjű 150 mm szélességű korongokkal kb. 3,2 mm-t munkáltak le 0,025 mm síkbeli pontossággal, a munkadarab másik oldaláról pedig 9,55 mm-t. Ezek csak 6,2 és 14,6 percet vettek igénybe és az összes idő 51,8 perc volt. A közepes anyaglemunkálás 665 cm<sup>3</sup>/min volt, ami 5,3 cm<sup>3</sup>/Le min értéknek felelt meg és összesen 13 800 cm<sup>3</sup> anyagot munkáltak le, 80 cm<sup>3</sup> korongelhasználódás mellett. Ez 150 jósági foknak felelt meg. A korongköltség 0,48 dollár volt munkadarabonként, így a munkaidő is igen lerövidült kis költségek mellett, és a felületi érdesség  $R_a = 0,5 \mu\text{m}$  volt. Ennél jobb felületi minőséghez további simító köszörülésre és valamivel több időre volt szükség.

Ehhez hozzá kell még tenni, hogy a svéd *Slipmaterial-Naxos* gyárban egy 25 kW teljesítményű köszörűgépen beszúró köszörüléssel 66 m/sec korongsebesség mellett és 40 m/min tárgysebességnél 0,055 mm/fordulat fogásmélységgel 17 kg/óra (36,2 cm<sup>3</sup>/min) acélt köszörültek le. Csúcsnélküli köszörüléssel hosszú, vékony munkadarabot nagyobb termelékenységgel és gazdaságosabban tudtak megmunkálni jobb méretpontosság és felületi minőség mellett, mint az eddigi eszterga-automatán végzett munkánál.

Általában Európában még elég kevésbé hódított teret az ilyen nagyteljesítményű köszörülés és az alkalmazott legnagyobb teljesítményű 100 lóerős-

köszörűorsó hajtóteljesítményű gépet az acéliparban bugaköszörülésnél használják. A *hazai vonalon* még ilyen nagyteljesítményű köszörűs munkával nem találkozunk.

### X. A köszörülés automatizálása

A köszörülés automatizálása a művelet bonyolultsága miatt elég lassan halad. Azonban mind termelékenység, mind méretpontosság szempontjából igen jó eredmények érhetők el köszörülésnél az aktív mérés alkalmazásával. Egyik ilyen berendezés segítségével 0,005 mm méretpontosság mellett a termelékenység közel nyolcszorosára növekedett külső köszörülésnél. Furatköszörülésnél is jelentősen nőtt a teljesítmény az aktív mérés bevezetésével. Ekkor ugyanis elmaradt a minden darab utáni leszabályozás, mert ezt csak minden tizedik darab után kellett elvégezni.

Egyes furatköszörűgép-gyárak megoldották az *automatikus korongcserét* is, ami szintén lényeges időmegtakarítást jelent, mert a furatköszörűkorongokat kisméretük miatt igen gyakran kell cserélni.

Igen jó eredményeket értek el a *Landis Tool Co.* vállalatnál az aktív mérés bevezetésével. Az elliptikusan köszörült alumínium dugattyúknál 0,5 mm rétegvastagság lemunkálása mellett 0,0063 mm tűréssel a megmunkálási idő 25 másodperc volt.

### XI. Gyémántszerszámok használata

A köszörülés egyik, a legutóbbi években igen rohamosan fejlődő ága a gyémántszerszámok gyors elterjedése. Ugyanis a nagykeménységű gyémántnak mint forgácsoló szerszámnak kitűnő tulajdonságai vannak. Nagy termelékenység mellett igen jó minőséget eredményez és a nagy élettartama következtében a nagy ár ellenében igen gazdaságos. A gyémánt szerszámok használatának fontosságát igazolja, hogy az *Amerikai Egyesült Államokból* származó adatok szerint, ahol kiemelkedően legnagyobb az ipari gyémánt felhasználása, gyémántszerszámok nélkül az amerikai ipar termelése felére csökkenne.

A gyémántszerszámok ugrásszerű fejlődését bizonyítja, hogy a *De Beers* konszern 1966. évi adatai szerint az évi fogyasztás 1920 és 1930 között némi ingadozással egymillió karát körül volt, ezzel szemben 1965-ben már 52 millió karátra (10,4 t-ra) emelkedett. 35 év alatt tehát 52-szeresére nőtt, ami közepesen évi 12% növekedésnek felel meg.

A fejlődés további szakaszait vizsgálva 1950 és 1960 között 12 millió karátról 25 millióra növekedett, ami 7,7% évi emelkedés. De az utóbbi 5 évben 1960–1965 között 25 millió karátról 52 millióra növekedett, ami már évi 15,7% növekedést jelent. Ez kereken négyszerese a világ ipartermelés-fejlődésének, ha ezt az utóbbi években 4%-ra vesszük.

A gyémántot a legkülönbözőbb szerszámokban használják fel, pl. köszörűkorongokban, fűrészekben, dróthúzó kövekben vagy polírozó pasztaként. Az összes ipari gyémánt felhasználása az 1965 évi adatok szerint 74,5% szemcse, amelynek további részletezése 36,5% köszörűkorong, 20% fűrész és 18% finom porra oszlik meg. Ezekon kívül nagyobb méretű szerszámokra dróthúzó kövekkel együtt 12,75% és kőzetfúrókra ugyancsak 12,75% esik.

A gyémántszerszámok ilyen nagymértékű felhasználása azért lehetséges, mert a természetes gyémánt mellett igen nagy mértékben megnőtt a mesterséges gyémánt előállítás. Ezt először az 1960-as évek elején a *General Electric Co.* detroiti laboratóriuma oldotta meg és ez is hozzájárul, hogy az összes ipari gyémánt felhasználásból az 1960-as évek elején az *Amerikai Egyesült Államokra* 70% esett. Az 1960. évi összesen 25 millió karátból 18 millió jutott Amerikára (73%). Azonban az 1960-as évek közepén a kievi *Szuperkemény Anyagok Intézetében* is megoldották a mesterséges gyémánt előállítását és azóta a szovjet mesterséges gyémánt is bekapcsolódott a világversenybe és a mennyiségi termelés rohamosan emelkedik.

Természetesen a mesterséges gyémántból készült szerszámok helyes használata sok tapasztalatot és körütekintést igényel, mert különböző minőségeket állítanak elő és a szerszámok gyártásának sokféle változata van. Ezért különbséget kell tenni a megmunkálandó anyag minősége, az elérendő felületi minőség és a munkadarab kialakítása szerint a szemcse minősége, nagysága és a szerszám felépítése között.

A gyémántszerszámok termelékenységét növelő hatása annál jobban előtérbe jut, minél keményebb a megmunkálandó anyag. Így pl. az elektronikus iparban a félvezető szilíciumrúd darabolása 30 mm ÷ mellett a régi módszerrel 3 óráig tartott, ez a jelenlegi műgyémánt-fűrészszel csak 25 másodperc. Azonkívül a műgyémánt-fűrész vágási szélessége csak 0,1 mm, ami azért igen lényeges, mert a vágandó anyag ára megközelíti az aranyét, tehát a kis vágási hulladék nagy anyagmegtakarítást eredményez.

A gyémántszerszámok egyik igen jelentős alkalmazása a keményfém és kerámiai szerszámok köszörülése, élezése. Ezen a vonalon állandó haladás tapasztalható, mert régebben egy gramm műgyémánttal 200 ÷ 300 g keményfémeket lehetett leköszörülni, ma már vannak kísérleti értékek 4 ÷ 8 ezer g keményfém leköszörüléséről is. A gyémántszerszámok előállítási módjai és alkalmazásai ma már olyan nagy területet ölelnek fel, hogy messze meghaladja jelen rövid összefoglaló kereteit.

A gyémánt szerszámok hazai felhasználása állandóan növekszik és ehhez lényegesen hozzájárul, hogy a Szovjetunió *Budapest*en felállított műgyémántszerszám forgalmazó-irodát, amelyen keresztül viszonylag rövid idő alatt az egyes felhasználási célokra alkalmas gyémántszerszámokat üzemünk megvásárolhatják. Azonkívül a *Gránit Gyár* is jó minőségű gyémántszerszámokat állít elő.

## XII. Következtetések és javaslatok

Jelen áttekintő ismertetővel igyekeztünk a finommegmunkálások rohamos fejlődését mind világviszonylati, mind hazai szinten ismertetni. Ebből is nyilvánvaló, hogy ha gépiparunk nem akar az állandóan növekvő világversenyben lemaradni, akkor a finommegmunkálások fejlesztésére és iparunkban minél szélesebb körű alkalmazására teljes energiával fel kell készülni.

Ezek érdekében javasoljuk, hogy a *Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya* keretében működő *Elméleti Technológiai Bizottság* a finomfelületi megmunkálások kutatási és fejlesztési kérdéseivel foglalkozzon. Ugyanis, ha csupán a *Kohó- és Gépipari Minisztérium* vonalán megvalósítás alatt levő mintegy 25 ÷ 27 millió forintot kitevő, a népgazdasági szempontból nagyfontosságú, kutató és fejlesztő munkát tekintjük, ennek a tudományos irányítása és felügyelete a *Magyar Tudományos Akadémia* hatáskörébe tartozik.

Ehhez kiegészítésképpen hozzátartozik, hogy a jó minőségű és nagytermelékenységű finomfelületi megmunkálásokhoz jó minőségű szerszámokra (pl. köszörűkorongokra) van szükség. Ezek előállítására külön igen komoly tudományos és gyakorlati technológiai probléma. Ezenkívül a finomfelületi megmunkálások technológiája üzeminkben igen alacsony színvonalú. Ezért az oktatásában igen komoly gyártástechnológiai tagozaton is csak néhány órát foglalkoznak finommegmunkálással, ami még az alapfogalmak elsajátítására sem elegendő. Azonban ezek a problémák külön tanulmányok keretébe tartoznak.

## IRODALOM

1. MASZLOV, N. É.: A fémek köszörülésének elméleti alapjai. Nehézipari Könyvkiadó, Budapest 1953.
2. HORNUNG A.: Fémfelületek finommegmunkálása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1963.
3. PEKLENIK, J.: Ermittlung von geometrischen und physikalischen Kenngrößen für die Grundlagenforschung des Schleifens (disszertáció). T. H., Aachen 1957.
4. Hornung, A.: Die Möglichkeiten der Leistungsbestimmungen beim Schleifen. *Fertigungstechnik* (1956), II—III.
5. PAHLITZSCH, G.: Gegenwärtiger Stand von Technik und Forschung auf dem Gebiet des Präzision-Schleifens. *Microtechnic* (1963), II—III.
6. KRUG, H. — HONICIA, G.: Die elastische Verformung bei Schleifwerkzeuge. *Werkstattstechnik* (1964), II.
7. HORNUNG A.: A köszörülés és köszörűszerszámok fejlesztése. *Gépgyártástechnológia* (1963), III.
8. HORNUNG A.: Gyorsköszörülés. *Gépgyártástechnológia* (1964), V.
9. BRÜCKNER, K.: Schnittkräfte bei Schleifen. *Industrie Anzeiger* (1965), Nr. 79.
10. SWEENEY, G.: Grinding instability. Advances in Machine Tool Design and Research (International M. T. D. R. Conference V). Pergamon Press 1965.
11. ERNST, N.: Erhöhte Schnittgeschwindigkeit beim Aussenrund-Einstechschleifen und ihr Einfluss auf das Schleifergebnis. *Industrie-Anzeiger* (1966), Nr. 24.
12. HORNUNG, A.: Die Frage der Standzeit von Schleifscheiben. *Werkstattstechnik* (1966), Nr. 6.
13. PAHLITZSCH, G. — CUNTZE, E.: Berezgés keletkezése és csökkentése beszúró köszörülésnél. *Gépgyártástechnológia* (1966), XI.



14. STRUNCK, J.: A köszörülés eredményeinek javítása növelt forgácsoló sebesség alkalmazásával és a szerszámgépekkel szemben támasztott követelmények. Szerszámgép Konferencia, Budapest 1968.
15. HORNING, A.: Gyémántszerszámok. *Gépgyártástechnológia* (1968), IV.
16. KRUG, H.—SCHIMMEL, G.: Der Zerspanungsvorgang beim Schleifen von Metallen mit hohen Geschwindigkeiten. *Werkstatstechnik* (1968), XII.
17. TODOROV, N.: A köszörűkorongon és a munkadarabon végbemenő rezgésfolyamat és hullámosodás különleges jellemzői és a megmunkálási pontosságra gyakorolt negatív hatásuk korlátozásának lehetőségei. Szerszámgép Konferencia, Budapest 1968.
18. CHAMPETIER, L.: Rectification ultra-rapide. *La Machine Outil Francaise* (1968), XII.
19. TARASOV, L. P.: Abrasive Metal Removal. *Machinery* (1968), III.
20. KAZINCZY L.: A forgácsolással megmunkált acélanyagú munkadarabok felületi minőségének komplex jellemzése. Kézirat, Budapest 1969.

#### The Situation of Fine Machining in the Advanced Industrial Countries and in Hungary.

In the course of the growth of the machine building industry, fine machining has obtained ever-increasing importance in improving quality. Especially machining methods using very hard and heat-resistant grains plays an important role, because these methods are suitable for high-precision machining of hardened surfaces to elevated standards of surface quality. These machining methods are: grinding, honing, superfinishing and lapping. The widest field of application has grinding, which at present is already suitable for removing vast quantities of material and guaranteeing the final quality of active surfaces in one set-up on high-powered machines (several 100 HP). But the other methods of fine machining have undergone a large development too, in which diamond grains and artificial diamond grains have played an important role. As for the economical and wide-spread application of fine machining in Hungary, much yet remains to be done.

#### Die Lage der Feinbearbeitungen in den entwickelten Industrieländern und in Ungarn.

Im Zuge der Qualitätssteigerung in der Maschinenindustrie erlangen die Feinbearbeitungen immer größere Wichtigkeit. Die Feinbearbeitungen mit Körnern von großer Härte und höher Wärmefestigkeit spielen eine besonders wesentliche Rolle, weil diese Methoden es gestatten auch gehärtete Oberflächen mit großer Genauigkeit und Oberflächengüte zu bearbeiten. Zu diesen Methoden gehören: Schleifen, Honen, Superfinish und Läppen. In weitesten Bereichen ist das Schleifen anwendbar, das heute mit Maschinen sehr hoher Leistung (mehrere hundert PS) nicht nur für das Abtrennen großer Spanmengen, sondern auch für die letzte Feinbearbeitung der Arbeitsfläche von Maschinenteilen in einer Aufspannung sehr wirtschaftlich ist. Die übrigen Feinbearbeitungsverfahren haben auch eine große Entwicklung durchgemacht, zu der Diamant und Kunstdiamant in großem Maße beigetragen haben. Bei der Verbreitung der Feinbearbeitungen sowie deren wirtschaftlicher Anwendung gibt es in Ungarn noch viel zu tun.



# TUDOMÁNYOS HELYZETKÉP A VEGYIPARI GÉPEK ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI VONATKOZÁSAIRÓL

SZÁNTAY BALÁZS\*

és

SZENTGYÖRGYI SÁNDOR\*\*

a műszaki tudományok kandidátusa

[Beérkezett 1970. június 10-én]

## I. Bevezetés

A vegyipari gép fogalma alá — hacsak a kizárólag vagy túlnyomó részben a vegyipar különböző ágazataiban használtakat vesszük is számításba — több mint 300 gép- és készülékfajta tartozik. Ezek közül igen sok még további konstrukciós változatokban használatos a nyomás, a hő és a korróziós igénybevétel vagy különleges igények szerint. Jóformán mindegyiknél adódnak áramlás- és hőtechnikai problémák vagy analógiák, sőt a vegyipari műveletek jelentős csoportját a hidrodinamikai és a kalorikus műveletek képezik. Ezen okok miatt igen nehéz a vegyipari gépek rendszerbe foglalása. Akár a művelet mechanizmusát, akár a berendezésbe be- és kilépő anyagok fázisait, akár a gépgyártástechnológiai hasonlóságait tekintjük a rendszerek alapjának, mindenképpen sokrétű átfedést tartalmazó, tökéletesnek nem nevezhető nomenklaturákhoz jutunk.

E helyzetkép keretében csak azokkal a gépekkel és berendezésekkel kívánunk foglalkozni, amelyeknél a hő- és anyagátadási, valamint az áramlás-tani vonatkozások dominálnak, továbbá a hazai alap- és ipari kutatásokra, ill. azok realizálására megvan a lehetőség.

Mielőtt a részletes ismertetésre rátérnénk, meg kell jegyezni, hogy a vegyipari műveleti és az ezzel összefüggő gépészeti kutatások területén a hozánk hasonló ipari fejlettségű országokhoz képest igen nagy mértékben elmaradtunk. Ennek oka az, hogy mind a vegyipar, mind a gépipar mintegy 15 éves késéssel ismerte fel a hazai vegyipari gépgyártás jelentőségét, a teendők vonatkozásában azonban ma sincs teljes összhang az érintett iparágak között.

A vegyipar fejlesztésére alakult ipari kutatóintézetekben műveleti, ill. vegyipari gépészeti alapkutatás az ipari, leginkább az új kémiai technológiai folyamatok kutatásával fonódott össze. A vegyipari gépgyárak ebben az időben a már meglevő gyártmányaik gyártási nehézségeivel bajlódtak, és gyártmány-

\* A tudományos helyzetképet az *Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Akadémiai Bizottság* 1969. április 28-i ülésén megvitatta. Opponensek voltak: *Füzy Olivér*, a műszaki tudományok kandidátusa és *Blahó Miklós*, a műszaki tudományok kandidátusa. A szöveg az ülésen elhangzott javaslatok és az opponensi vélemények figyelembevételével készült.

\* SZÁNTAY BALÁZS; Budapest XI., Möricz Zsigmond körtér 15.

\*\* Dr. SZENTGYÖRGYI SÁNDOR; Budapest IX., Ráday-utca 33b.

fejlesztéshez sem pénzük, sem idejük nem volt. Néhány problémájukban az egyetemi tanszékektől kaptak segítséget. Ennek tulajdonítható, hogy a külföldi és belföldi tudományos helyzetkép összevetése során éppen a vegyipari gépészet területén gyakran találkozhatunk külföldön olyan tudományos eredményekkel, ill. az ezeken alapuló és már szokványos berendezésekkel, amelyek itthon még újdonságként hatnak és legfeljebb távlati fejlesztési témaként vehetők fel.

A tudományos helyzetképet a fontosabb hidromechanikai, kalorikus és diffúziós műveletekre bontva vázoljuk.

## II. Hidrodinamikai műveletek

### 1. A keverés

A keverés műveletét ma már számos tudományos munkában nem tekintik önálló vegyipari műveletnek, hanem hő- és anyagátadási műveletek, vegyipari alapfolyamatok, reakciók segédeszközének. Az alap- és ipari kutatási témák azonban ma is még inkább a kevert közegek fázisával, viszkozitásával állnak közvetlenebb kapcsolatban, mint a keverés által kiszolgált fő művelettel. Így a helyzetképet még ma is a következőknek megfelelően célszerű vizsgálni.

a) *Folyadék—folyadék keverés.* A folyadék—folyadék keverés hidrodinamikai alapproblémája — ha Newton-i folyadékokról van szó — a teljesítményszükséglet meghatározása, ami ma már nem alapkutatási téma. Országunként kialakultak a leggyakoribb keverőelemek szabványai és modellkísérletekkel meghatározták az ellenállási tényezőket a Reynolds-szám, valamint a Froude-szám függvényében [1, 2]. Az időnként még megjelenő új keverőelem típusok már különleges célt szolgálnak és az ipari kutatás eredményei [6].

Hazánkban a szabványos keverőelemek ellenállás-tényezőit a Budapesti Műszaki Egyetem *Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszéke* laboratóriumában mérték ki [3, 4].

A *Newton-i folyadék-keverők* területén alapkutatási témaként a következő problémák jelentkeznek Magyarországon:

A keverőelemek, keverőszerkezetek hatásosságának fogalmi meghatározása és mérésének módszerei [7];

a fizikai jellemzőktől és a keverés céljától függően az optimális keverőelem megválasztása (pl. diszperzió, emulzióképzés).

A *nem Newton-i folyadékok* keverése területén egyelőre világviszonylatban sem mondhatjuk megoldottnak a keverőteltjesítmény meghatározásának kérdését. A törekvések arra irányulnak, hogy a Newton-i modellfolyadékkal mért görbéből hogyan lehet a teljesítményszükségletet a nem Newton-i folya-

dékoknál meghatározni. Irodalmi adatok szerint ezt a kérdést csak pszeudoplasztikus folyadékokra oldották meg [5].

Megnehezíti a témát, hogy az ilyenkor használatos keverőszerkezetek, keverőelemek csak viszonylag szűk látszólagos viszkozitás, ill. Reynolds-szám határok között működőképeseek. Keverős üstben,  $1000 \div 100\,000$  cP viszkozitási tartományban  $Re < 20$  esetén a propeller-keverő már teljesen hatástalan. Mintegy  $50\,000$  cP viszkozitásig a keverő tengelyre erősített lemez- vagy szalag csigával, a vízszintessel  $20 \div 30^\circ$ -ot bezáró körtárcsákkal kevernek. Efelett bolygókeverőket alkalmaznak, de  $100\,000$  cP felett már mindjobban elterjednek az egy- vagy kétcsigás extruderek, vagy extruder-jellegű keverőberendezések.

Bármelyik berendezést tekintjük is, a teljesítményszükséglet és a keverés hatásossága sokkal merevebben összefügg egymással és a keverő típusával is, mint a Newton-i folyadékok esetében, ennek következtében az áramlástani elméleti összefüggések és azok gyakorlati alkalmazásai is kevésbé tisztázottak.

*b) Folyadék—szilárd anyag keverés.* A szuszpenzióképzés területén az alap kutatási problémák megegyeznek a Newton-i folyadékok esetében ismertettekkel, a nem Newton-i folyadékoknál említett problémákkal a dagasztás műveleténél találkozunk.

Újabb ipari problémaként jelentkezett fémolvadékból (pl. nátrium) valamely vele nem reakcióképes folyadékban (pl. petroleum) stabil szuszpenzió képzése. Ez elsősorban a mikroszkopikus finomságú diszperziócseppek előállításának problémáját veti fel.

A finom diszperzióképzés leggyakoribb módszereként az ultrahangot alkalmazzák. Az ultrahangot e célra a *Szovjetunióban* csőgenerátorral, magneto-sztrikciós vagy piezoelektromos hatáson alapuló berendezésekkel állítják elő, a Német Szövetségi Köztársaságban a folyadékba merülő forgó ultrahang-szirénákat alkalmazzák. A stabil nátrium-suszpenzió előállítására a *Veszprémi Vegyipari Egyetem* és a *Vegyiműveket Tervező Vállalat* végez közösen kísérleteket.

*c) Szilárd—szilárd (por) keverés.* A porkeverés területén számos szellemes berendezéssel jelentkeztek a gyártó cégek a piacon. A berendezések sokfélesége mellett a porkeverés elve gyakorlatilag változatlan maradt, és változatlanul tisztázatlanok maradtak a teljesítményszükséglet, a hatásosság, az optimális berendezés stb. kérdései is. A porkeverés területén a legutóbbi időkhig nem folytak sem alap-, sem ipari kutatások. Jelenleg a *Miskolci Nehézipari Egyetem Vegyipari Gépek Tanszéke*n végeznek porkeverési vizsgálatokat.

## 2. Ülepítés

Az ülepítés célja szilárd—folyadék szuszpenziók vagy folyadék—folyadék emulziók szétválasztása gravitációs vagy centrifugális erőterben. Áramlás-



technikai problémaként az ülepedési sebesség meghatározása adódott, különösen abban az esetben, ha a szemcsék alakja a gömbalaktól eltér. Ma már a közönséges gravitációs ülepítési problémák az ipari gyakorlat számára ki-elégítő pontossággal megoldottnak tekinthetők. Újabban a gravitációs ülepítésnél az ülepedési sebesség megnövelésére flokkulátorokat alkalmaznak. A *Budapesti Műszaki Egyetem Mezőgazdasági Kémiai Technológiai Tanszéken* folytak és folynak ilyen irányú kutatások, amelyeknek eredményeként a víztisztítás és az iszapfeldolgozás új iparágként van kifejlődőben, gépészeti berendezései pedig vegyipari gépgyártásunk keresett exportcikkei.

Szuszpenziók centrifugális erőterben történő ülepítésére szolgáló berendezések gyártmányfejlesztéséhez folynak alap- és ipari kutatások. Az ülepítő centrifugákkal a *Budapesti Vegyipari Gépgyár 4. sz. gyáregységének* laboratóriumában az egyenértékű derítőfelület értelmezéséhez végeztek kísérleteket. Ugyanitt emulzióbontó centrifuga-típust is kifejlesztettek részben saját kísérleteik alapján [12]. Derítő centrifugákkal folynak félüzemi kísérletek a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszéken* is.

### 3. Szűrés

A szűrés áramlástani problémái közül kiemelkedik a szűrőközeg és az iszap együttes ellenállási tényezőjének meghatározására vonatkozó kérdés-csoport. A probléma általánosítva mint szemcsés ágyon átáramló közeg nyomásesése található az irodalomban. KÁRMÁN, KOZENY, LEVA [13] és mások a problémát igyekeztek az ágy porozitásával és a szemcsék szfericitásával olymódon általánosítani, hogy általános érvényű ellenállási tényező — Reynolds-szám függvényt kapjanak. Minthogy a porozitás a szűrési művelet során időben változik, a szfericitás sem egyértelműen meghatározható állandó érték, a szűrés ma is főként empirián alapuló művelet, az említett elméleti fejtegetések legfeljebb a jelenségek leírására alkalmasak. Az elmélet az utóbbi években nem fejlődött számottevően és egyelőre nem is várható e téren újdonság. A fejlődés lényegében csak új konstrukciók kialakítása, konstrukciós részletmegoldások, új szűrőközegek, továbbá a mechanizálás és automatizálás területén mutatkozott.

Hazánkban alapkutatás nem folyik e területen és az ipari kutatás sem szervezett. Az *Almásfüzűi Timföldgyár* kb. 10 éve kísérleteket kezdett a vörösiszap tapadó nedvességének szűrés utáni utópréssel történő csökkentésére és ennek eredményeképpen szerkesztették meg az *AJKO* rendszerű légtáskás szűrőprést. Laboratóriumi és félüzemi nagyságú kísérleti berendezések több külföldi vállalatnál, és a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszékén* működnek az alkalmazási területek feltérképezésére, de nagyüzemi méretű, gyártásra alkalmas típus a mai napig

még nem alakult ki. (Nyugati cégek a magyar szabadság megkerülésével már sorozatban gyártanak tökéletes típusokat.)

A Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszéke eredményes kísérleteket végzett segédiszappal működő vákuum dobszűrővel és zsugorított porózus bronz szűrőgyertyákkal. A kísérletek eredménye kémiai technológiai eljárások korszerűsítésében és új konstrukciók kialakításában mutatkozott [14, 15].

#### 4. A flotáció (vagy úsztatás)

A flotáció művelete eredetileg szén- és ércdúsító eljárás volt. Gyűjtő- és habképző anyagokat keverve vízhez, a dúsítandó komponensek hidrofób tulajdonságait megnövelik, a meddő részek viszont erősebben hidrofíllé válnak. A Miskolci Nehézipari Egyetem Ércelőkészítéstan Tanszéken nagy hatású flotáló berendezést kísérleteztek ki, amelyet a vegyiparban is használnak és segítségével, valamint ugyancsak újdonságnak számító segédanyagaival és berendezéseivel az iszapfeldolgozást mint új iparágat teremtették meg Magyarországon.

#### 5. Centrifugálás

Magyarország számára a KGST munkamegosztásából adódó területen világviszonylatban új, jelentős fejlődés nem tapasztalható. (Az ülepítő centrifugákat a 2. pontban már megemlítettük.) A centrifugák teljesítménye, konstrukciós részletmegoldásainak tökéletessége, az elválasztás élessége és egyéb tényezők állandó javítására állandóan folynak ipari kísérletek a Budapesti Vegyipari Gépgyár kísérleti állomásán. Hiányzik azonban egy részletes, átfogó centrifugafejlesztési program mind a kutatás, mind a gyártmányfejlesztés vonalán. Ennek hiánya eredményezi a kutatási eredmények realizálásának lassúságát, amelynek következtében az új típus a piacra kerülés időpontjában már legtöbbször túlhaladott a külföldi piacon. A kísérleti programban hasonló feladatok várnak megoldásra mint a gravitációs erőterben történő ülepítésnél és szűrésnél.

#### 6. Por- és ködleválasztás

E művelet berendezései között megtalálhatók a durva szemcsék, ill. cseppek leválasztására a gravitációs ülepítő kamrák, a centrifugális erőterrel működő ciklonok, cseppfogók és a kombinált erőterű szélosztályozók, továbbá az igen finom porok, ködök leválasztására szolgáló elektrostatikus berendezések, nedves mosók.

Hidrodinamikai probléma minden berendezés-típusnál mutatkozik, mert az alapvető paraméterek: a szemcse alakja és nagysága, a cseppnagyság, az

ezeiktől is függő ülepedési sebesség, a berendezésen belüli sebességeloszlások területén igen hézagosságok az alapkutatási eredmények, az ipari kutatások pedig a nehezen kezelhető összefüggések helyett tapasztalati értékek gyűjtésére törekednek.

Így igen sok és megkehetősen nagy szórást mutató összefüggés van a határszemcse nagyságának meghatározására. Attól, hogy az egyes méretkategóriájú szemcsék részarányát a tisztított és a leválasztott fázisban számítással meghatározhatjuk, még nagyon messze vagyunk [19]. A ciklonok kutatásával hazai vonalon a *Miskolci Nehézipari Egyetemen* TARJÁN GUSZTÁV akadémiai levelező tag vezetésével foglalkoznak, ipari kutatás folyt a *Magyar Szellőzőművek* jogelődjénél is.

### 7. Áramlástechnikai segéd módszerek és műveletek

a) A *porlasztás* a vegyipari műveletek területén több helyen is nagy jelentőségű. A híg szuszpenziók, pasztaszerű anyagok és oldatok porlasztása szárítás, ill. kristályosítás céljából a legjelentősebb. Igen gyakori azonban folyadékok gáztérbe porlasztása a gázból történő anyagátadás vagy hőelvonás céljából is. A porlasztás ezekben történhet nyomással (a porlasztást a fuvókán kiáramló közeg sebességi energiája végzi), kétáramú fuvókával (külön gáznemű közeg végzi a folyadéksugár porlasztását), forgó tárcsákkal vagy forgó fuvókákkal. Álló fuvókás és a forgótárcsás folyadék-porlasztás esetén részben elméleti, részben empirikus eredetű irodalmi adatok alapján jól számíthatók a cseppméret-eloszlási görbék és a porlasztási kúp alakja.

Más a helyzet a forgó fuvókák és a paszta-konzisztenciájú anyagok porlasztása esetében. A probléma ipari jelentőségéhez mérten (szemcsés műtrágyák és mosószerek gyártása) igen kevés irodalmi adat áll az ipar és a tervezők rendelkezésére. A *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszéke* huzamosabb idő óta végez olvadékok és folyadékok forgó, valamint pasztaszerű anyagok kétáramú fuvókás-porlasztása területén kutatásokat. A kutatások ipari alkalmazásának eredményeként sikerült a szemcsés műtrágyák szemnagyságát egyenletesebbé tenni [9—11].

b) A *fluidizáció*. Szemcsés anyag fluidizált állapotba hozása meggyorsíthatja a hő- és az anyagátadást, ill. egyes kémiai reakciókat. Az utóbbi években főleg külföldön, sőt itthon is igen sok fluidágyas reaktor, szárító, granuláló, pörkölő stb. berendezést helyeztek üzembe.

A fluidizációnál jelentkező egyik jellegzetes hidrodinamikai probléma a *minimális fluidizációs sebesség* meghatározása. Ennek módszere lényegében azonos a szemcsés ágyon keresztül áramló közeg nyomásesésének meghatározásával (lásd a 3. pontot). Ezenkívül az irodalomban főleg empirikus összefüggések találhatók a fluidizált ágy stabilitásának megoldására [13, 16, 17].

A hazai kutatás a fluidizáció területén a *Nehézvegyipari Kutató Intézetnél* indult meg, és ma is alapját képezi a működő fluidizációs piritpörkölő kemence konstrukcióinknak (kénsavgyártás). Folytak kísérletek a fluidizációs mészegetésre is. Jelenleg főleg a *Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Kémiai Kutató Intézete* foglalkozik fluidizációval. Kutatásaik egyik eredménye az *Eco-sorber* nevű fluidágyas adszorber. A fluidizáció egyik különleges esete üzembizavár szüleménye: a fluidizáló levegő gejzírszerűen áttör a fluidizált rétegen, szemcséket ragad magával, majd visszaejti. Újabb kutatásokkal, amelynek zömét a *Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Kémiai Kutató Intézete* végezte, kitűnt, hogy a „gejzírben” az anyag- és hőátadási tényezők sokszorososan felülmúlják a fluidizált ágyban elérhető értékeket. Külföldön gabona és hüvelyes vetemények szárítása területén jelentős eredményeket értek el gejzíres szárítással. Az optimális viszonyok kikísérletezése után ezeket is igazolták a *Műszaki Kémiai Kutató Intézet* kísérletei.

c) *Szilárd anyagok pneumatikus szállítása.* A vegyiparban kifejezetten szállítási célokra ritkán használják, mert itt mechanikai energiafelhasználás szempontjából a fluidizáció előnyösebb. Igen elterjedt az élelmiszeriparban kis fajsúlyú anyagok szállítására (gabonaneműek, liszt stb.). A vegyiparban első alkalmazási területe a foszfát-műtrágya szállítása volt. A berendezést az 50-es évek végén a *Budapesti Műszaki Egyetem Vízgép Tanszéke* dolgozta ki.

Az itt jelentkező áramlástechnikai probléma egyrészt a minimális elragadási sebesség (vízszintes vagy függőleges cső esetében), valamint a nyomásesés meghatározása [1]. Hasonló problémák jelentkeznek a fluidizációs szállításnál is, amely rendszerint porbunkerek ürítésével is kapcsolatos.

A jelzett problémák hazai kutatása *Vegyészmérnöki Kar Vegyipari Géptan Tanszékén* folyik [18]. Ide kívánczik annak a megemlítése, hogy hazánkban a szemcsés, ill. poralakú anyagok gravitációs áramlása függőleges vagy ferde csövekben nagyon elhanyagolt téma, pedig a bunkerek ürítése és zárt surrantói szempontjából igen fontos.

A *Szovjetunióban* az odesszai *Lomonoszov Technológiai Intézet* nagyarányú kísérletsorozatokot végez a fenti témában. Hasonlóképpen *Japánban*, a *Yokohama Egyetemen* igen felkarolt kutatások folynak. Itthon a *Szilikátipari Kutató Intézetben* végeznek szórványos kísérleteket.

d) *Folyadékok szállítása.* A szivattyúk területéről már korábban elkészült a részletes tudományos helyzetkép. A vegyipar szivattyúproblémái egyrészt különleges szivattyú-konstrukciók területén mutatkoznak (arány-szabályozós precíziós adagoló szivattyúk, tömszelence nélküli szivattyúk, „in line” szivattyúk stb.), másik probléma a centrifugálszivattyúk jelleggörbéinek transzformálására vonatkozó módszer hiánya (a víztől eltérő viszkozitás, forrpont feletti szállítás stb.). Ez utóbbiakra vonatkozólag a hazai gyáraink nem tudnak adatot szolgáltatni, ezért gyakran importálni kell a hazaival megegyező szivattyútípusokat is.

e) *Gázok szállítása.* A vegyiparban  $150 \text{ kp/cm}^2$  nyomásig 1963-ig kizárólag dugattyús gázkompresszorokat használtak. 1963-ban *Texas City*-ben (Amerikai Egyesült Államok) sikerült az első nagynyomású centrifugál-kompresszort üzembehelyezni. Ettől kezdve mind darabszámban, mind teljesítményben rohamos növekedés indult meg e területen. A fejlődést az ammónia-szintézis üzemek növekedése diktálta, mert az egy technológiai vonallal megvalósítható teljesítmények az utóbbi 10 év alatt  $200 \text{ t/d-ről } 1500 \text{ t/d-re}$  növekedtek. Ez azt jelenti, hogy a komprimálandó szintézis gáz mennyiség  $25\,000 \text{ Nm}^3/\text{h-ről } 180\,000 \text{ Nm}^3/\text{h-ra}$  növekedett  $350 \text{ at}$  végnyomás mellett.  $600 \text{ t/d}$  ammónia-termelés esetén kb.  $70\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  szintézisgázt kell komprimálni és kb. ez az a határ, amelynél már a centrifugál-kompresszor gazdaságosabb a dugattyús-nál. A centrifugál-kompresszor alkalmazása gőzturbina-igényekkel is jár, mert a  $70\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  teljesítményű kompresszor (egybeépítve a cirkuláltató kompresszorral) hajtásához kb.  $10\,000 \text{ kW}$ , a  $180\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  teljesítményűhöz pedig kb.  $24\,000 \text{ kW}$  teljesítményű,  $10\,000\text{—}15\,000 \text{ l/min}$  fordulatszámu gőzturbina szükséges (a gőzt a szintézis üzem termeli).

A szocialista országokban ilyen kompresszorberendezést még nem gyártanak, ezért célszerű lenne hazai gyártásukat licencia-vásárlással megindítani, műszaki fejlesztésükhöz pedig a szükséges kutatások kérdését megvizsgálni.

### III. Kalorikus műveletek

#### 1. Hőcserélés

A hőcserélés szokványos berendezéseinél: a csőköteges hőcserélők, forralók és kondenzátorok területén különösebb, főleg új áramlástechnikai problémák ritkán jelentkeznek. Előfordulnak ugyan zavart okozó rezgések a csőkötegben [20], de a legtöbb nehézséget a hőátadási problémák okozzák. Ilyenek pl. a többkomponensű gőzök kondenzációja, a kondenzáció gőzök és gázok elegyeiből, valamint a többkomponensű oldatok forralása. E hőátásmaztatási esetek a kalorikus- és diffúziós műveletek kulcsberendezéseinél fordulnak elő: rektifikáló oszlopok kondenzátorainál, visszaforralóinál, bepárló berendezések csőregisztereiben stb.

A többkomponensű gőzök kondenzációjának számítása még viszonylag a leginkább kidolgozott terület [21], oldatok forralásánál viszont csaknem teljesen hiányzik a számításra is felhasználható elméleti alap.

A témák kutatásával a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok*, valamint a *Vegyipari Műveletek Tanszéke* foglalkozik rendszeresen, de számos vegyi üzemben is folynak egyes konkrét témákkal kapcsolatos kísérletek. Ilyen például a kondenzálódó gőzök hőátadási tényezőjének növelése elsősorban a cseppkondenzáció mesterséges előidézésével.



A csőköteges hőcserélők hőtechnikai és szilárdsági méretezésére a *Vegyiműveket Tervező Vállalat* számítógépi programot dolgozott ki, amely a kiindulási adatok betáplálása után a felhasználandó berendezés rajzsámát adja ki.

Újabban a vegyiparban is egyre inkább törekednek arra, hogy minél kisebb térfogatban, minél nagyobb hőátadó felületet és minél jobb hőátaszármaztatási tényezőt érjenek el. E célból külföldön a *kompakt hőcserélő konstrukciók* egész sora került a piacra, de a számításukhoz szükséges elméleti kutatásokat ritkán, akkor is csak hézagosan publikálják, helyette fajlagos értékeket adnak, az érvényességi paraméterek mellőzésével. Ilyen berendezések hazai gyártását belátható időn belül meg kellene kezdeni, ezért célszerű volna a tervszerű kutatómunkát elindítani.

Az utóbbi évtizedben az üzemi bővítéseket nehezen követő hűtővízellátás a folyók egyre nagyobb mértékű szennyeződése világviszonylatban és nálunk is előtérbe helyezte a vegyiparban a léghűtés alkalmazását.

Az alkalmazási lehetőségek vizsgálata számos áramlás- és hőtechnikai problémát is felvetett. Ilyenek pl. a kis ellenállású bordáscsövek, a nagy mennyiségű hűtőlevegőt szolgáltató axiális ventillátorok kialakítása. Új hőtechnikai problémaként pedig a hőátadási tényező meghatározása merült fel vízszintes vagy ferde cső belsejében történő kondenzáció esetében [22].

Magyarországon a *léghűtéses kondenzátorok* terén elsőnek a *Heller—Forgóféle apróbordás csőű berendezés* jelent meg, amely erőművi alkalmazásban mind belföldön, mind külföldön csakhamar igen elterjedt. A vegyiparban néhány helyen megkísérelték felhasználni (pl. ammónia-szintézisnél, széndioxid-hűtésnél) de a kis csőátmérő, a vékony csőfal és alumínium szerkezeti anyaga miatt közvetlen léghűtőként a vegyiparban csak korlátozott mértékben alkalmazható [23].

Több alkalmazási lehetőséget rejt magában a *Vegyiműveket Tervező Vállalat* által tervezett keresztbordás léghűtő, amelynek áramlás- és hőtechnikai bemérését a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszéke* végezte. A mérések szerint paraméterei eléri a világszínvonalat. Első komplett egységeinek beépítése jelenleg folyik [24]. A berendezés vastagfalú alumíniumcsőből mángorlással előállított keresztbordás, menetközben állítható szárnylapátú axiális ventillátorral.

A keveréshez hasonlóan a hőcserénél is sok még a megoldatlan probléma nem Newton-i folyadékok esetében. A nem Newton-i folyadékok hőcserélési problémái csak a legújabb időkben kezdtek némileg rendeződni azzal, hogy a hőátadás kritériális egyenletét a nem Newton-i folyadékok egy nagy csoportjára sikerült szabatosan megfogalmazni. Így, ha ismerjük a Newton-i folyadék esetében a hőátadási tényező kiszámítására szolgáló kritériális egyenletet, továbbá a nem Newton-i folyadék reológiai görbáját, akkor az utóbbira vonatkozó kritériális egyenlet is előállítható. Ennek a módszernek érvényességi határa még erősen korlátozott [25]. E téren hazai elméleti alap kutatások

a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tan-  
székén* folynak.

A hőtechnikai problémák a vegyipar területén nem kizárólag a folyadék és gáz halmazállapotok területén jelentkeznek. Több publikáció ellenére még megoldatlan elméleti kérdés a szemcsés halmazokon átáramló gáz vagy folyadék hőátadási tényezőjének vagy a szemcsés halmaz hővezetési tényezőjének számítása. Töltött oszlopok és katalitikus reaktorok hőtechnikai méretezésénél az említett számítások nélkülözhetetlenek, viszont a modellezés nehézségei miatt igen sokszor csak ipari méretekben végezhető kísérletek.

## 2. Bepárlás

A bepárlás és a bepárló berendezések hőtechnikai és áramlástechnikai problémái a hőgazdálkodás javítása, a fajlagos elpárologtató képesség növe-  
lése és a tartózkodási idő csökkentése területén mutatkoznak. Az *egyik* fejlődési irány az egytestes bepárlók területén a kényszercirkuláció alkalmazásának különböző változatai, a *másik* pedig az eső-, ill. kúszóáramú, valamint a mechanikus filmképzésű filmbepárlók elterjedtebb alkalmazása.

A *többtestes bepárlók* esetében szintén két különböző utat követnek, mint fejlődési irányt. Az egyik az, hogy feladták az egyes bepárló testek egyöntetűségének elvét és a bepárló típusok legkülönbözőbb változatait kapcsolják össze egymással azért, hogy a bepárlandó oldat mindenkori konzisztenciájának és egyéb fizikai jellemzőinek legjobban megfelelően éri el az említett hármas célt. A másik út az igen sok fokozatú, azonos egységekből álló expanziós bepárlók alkalmazása igen nagy folyadékmennyiségek elpárologatására (pl. tengervíz bepárlás ivóvíznyerési célból).

A bepárlás alapvető elméleti hőtechnikai kérdései még megoldásra várnak. A hőcserélőkhöz hasonlóan a forralási hőátadási tényezők számítására sincsenek még megbízható összefüggések [26]. Empirikus képletekkel számíthatók a kúszó és az eső film kialakulásának feltételei, valamint áramlás- és hőtechnikai vonatkozásai. A centrifugális erőterben létrejövő vagy a falra felkent filmrétegek kialakulásáról még igen korlátozottak az ismereteink. A fajlagos elpárologtató képességet legtöbbször csak kísérletileg lehet meghatározni, bár vannak az irodalomban értekezések, amelyek a film vastagságának meghatározására vezetnek vissza a hőátadási tényező számítási problémáját. Ugyanígy akadnak tanulmányok a hengeres cső belső felületére forgó lapátokkal [27], görgőkkel vagy kefeszervekkel felvitt filmréteg vastagságának meghatározására, de ezek a legtöbb esetben nem általánosíthatók a sok változó (pl. felületi simaság) miatt.

### 3. Kristályosítás

E művelet hőtechnikai és áramlástechnikai problémái a bepárlásával és az ülepítésével azonosak, a nehézségek inkább megfelelő konstrukciós megoldások hiányában és fizikai kémiai problémákban jelentkeznek.

A hazai kristályosítási technika mind elméletileg, mind gyakorlatilag a cukorgyártás területén a legfejlettebb, egyéb területeken meglehetősen kezdetleges, holott a vegyipar igényelné a nagy teljesítményű, folytonos üzemű, osztályozó kristályosítók tervezésére és üzemére vonatkozó kutatásokat (pl. ammon-szulfát, monoklór-ecetsav kristályosítása).

## IV. Diffúziós műveletek

### 1. Szárítás\*

A szárítás problémájának tudományos vizsgálata a vegyiparban kissé másképpen jelentkezik, mint ahogy azt a klasszikus szárítás-irodalom a múltban tárgyalta. Ennek elsődleges oka az, hogy itt a szárításon kívül még igen sok olyan művelet van, amelyben egyidejű hő- és anyagátadás történik (abszorpció, ad- és deszorpció, rektifikálás stb.), így az e műveletekkel azonos alapon tárgyalható transzporttényezők, egyensúlyi viszonyok stb. vizsgálatát nem érdemes egymástól elszigetelten tárgyalni. A másik alapvető különbség az, hogy a nedvesség sok esetben a víz mellett sokféle más oldószer is lehet; szárító gázként a levegőn kívül más közeg (pl. füstgáz) is sűrűn előfordul. Az entalpia-koncentráció-diagramok (Mollier  $i-x$  diagramok) használata a vegyiparban nem nagyon terjedt el. E diagramok használatát ugyanis főleg az indokolja, hogy vízgőz—levegő rendszernél konvekciós szárítóokban a szárítólevegő közelítőleg állandó entalpia-vonalak mentén telítődik, az anyag hőmérséklete pedig az adiabatikus telítési hőmérséklet, amely közelítőleg az  $i =$  állandó vonal és a telítési görbe metszéspontjában található hőmérséklet. Ezen egyszerű relációknak az az oka, hogy vízgőz—levegő rendszer Schmidt-száma és Prandtl-száma közel azonos. Más rendszereknél azonban ez az azonosság nem áll fenn, így a szárítás folyamata egyensúlyi görbe és munkavonalak segítségével jobban leírható.

A szakterület tudományos külföldi irodalma igen nagy, hazai alapjellegű kutatás egy- és többkomponensű nedvesség szárítására a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszékén* folyik.

A szárítás problémájának ipari kutatása hazánkban esetenként jelentkező feladatok megoldására szorítkozik.

\* A szárításról készült átfogó helyzetképet ld. a 457–472. oldalon.

## 2. Egyéb diffúziós műveletek

A diffúziós műveletek nagyrésze: a desztilláció, abszorpció, adsorpció szilárd—folyadék, ill. a szolvens extrakció főleg oszlopos készülékekben folyik le. Ezek mindegyikének olyan közösek az anyagátadási, valamint hőtechnikai és áramlástechnikai vonatkozásai, hogy célszerűbb e műveleteket készülék-típusonként tárgyalni.

a) *Tányéros oszlopok.* A *harangtányéros oszloptípust* egyaránt használják a desztilláció és abszorpció műveletéhez, ritkábban a szolvens extrakcióhoz. Alapvető áramlástechnikai témaként jelentkezik a kis ellenállású és intenzív keveredést eredményező tányérszerkezet, pontosabban a buboréksapka (vagy harang) kialakítása és ehhez járul még az egyszerű és gazdaságos konstrukció kérdése [33, 35]. Konstrukciós megoldásokban nincs hiány, de pl. a tányér ellenállásának meghatározásához vagy közelítő számításokra, vagy pedig ipari méretű kísérletekre van szükség. A kisminta, sőt gyakran az ipari méretű kísérleteket is levegő—víz közeggel végzik, ami nem számítható át megfelelő pontossággal arra az esetre, amikor a gőz olyan folyadékrétegen buborékol át, amely meghatározhatatlan arányban gőzbuborékot és habot is tartalmaz. Az ipari kutatások másik célja a tányértávolság, és ezzel az oszlopmagasság-csökkentés a folyadék áthordás veszélye nélkül.

A *szita- és rácstányéros oszlopoknál* szemben a harangtányérokkal, amelyeket statikus tányéroknak is szokás nevezni, mert a folyadékszintet a tányéron túlfolyógátak tartják, a szitatányérokban a folyadékszintet (a klasszikus szerkezeteknél) a felfelé áramló gőz és a folyadék között fellépő súrlódás tartja. Ezért ezeket a tányérokat dinamikus tányéroknak is nevezik. A szita-tányér, amely lényegében perforált lemez, áramlási- és anyagátadási viszonyai már régóta ismeretesek. Kisebb ellenállásúak, jobb hatásfokúak, jobban túlterhelhetőek, viszont kevésbé alulterhelhetőek, mint a statikus tányérok. Belátható, hogy a folyadék- és gőzfázis érintkeztetése akkor lenne a leghatásosabb, ha ugyanabban a perforált lyukban történne a lecsepegés és a felfelé áramlás. Ezt az állapotot legjobban úgy sikerült megvalósítani, ha a kerek perforációt keskeny résszé nyújtják meg. Így alakultak ki a rácstányérok [35]. A rácstányérok tulajdonságaival a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Műveletek Tanszékén* foglalkoztak igen behatóan mind a tányérellenállás, mind az optimális sebességek kutatása területén. Egy további megoldást jelentenek a *szelepes és kombinált tányérszerkezetű oszlopok*. Már a perforált lemezes szita-tányérok idején felmerült az a kívánság, hogy jó lenne, ha a gőzterhelésnek megfelelően lehetne változtatni a perforációk számát vagy méretét. Az első használható megoldást az 50-es évek elején megjelent szelepes tányérok szolgáltatták. A szelepek 40—50 mm átmérőjű lyukakat lefedő fémlapocskák, amelyek kis terhelés esetén kerületükön csak kis mértékű átbuborékolást tesznek lehetővé, a terhelés növekedésekor pedig függőlegesen vezetve fel-

emelkednek és üzem közben a folyadékban lebegnek. Ma már igen sok változatuk van forgalomban. Közös jellemzőjük, hogy az előzőkhöz képest bő terhelési határon belül, kicsiny a nyomásesésük és jó a hatásfokuk [33, 35]. A *Vegyiműveket Tervező Vállalat* szelepes tányértípusát a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszékén* kísérletezték ki. Ugyanitt részletes elméleti és kísérleti vizsgálatok folynak a szelepes tányérok anyagátadási hatásfokának általános (kritériális) egyenleteinek meghatározására. A kombinált tányérok rács- és szelepes vagy szelepes és buboréksapkás tányérok kombinációi. Hazai kísérletek eredményeként konstruálta FÁBRY Gy. a gyűrűs rács tányért [37], a *Kőolaj- és Gázipari Tervező Vállalat* (PAPP Á.) pedig a forgó buboréksapka-szelepes tányért.

b) *Töltött oszlopok.* A desztilláció, abszorpció és szolvens extrakció esetében a tölteléktestek határozott alakúak (gyűrű vagy nyeregtestek), az adszorpció és szilárd—folyadék extrakció esetében pedig gyakran határozott alakkal nem rendelkező különböző nagyságú szemcsék. Ha a töltéken keresztül folyadék áramlik lefelé, felfelé áramló gázárammal szemben, az optimális gázsebesség és az elárasztási sebesség közötti empirikus összefüggések ismertek és jól használhatók [30, 33, 34].

Nyitott kérdés a tölteléktest-réteg folyadékterelő hatásának meghatározása. A töltelék réteg ugyanis a középre csurgatott folyadékot az oszlop fala irányába tereli és bizonyos oszlopátmérő-töltelék rétegmagasság arányon túl a belső oszlopkeresztmetszetben nincs nedvesítés. A terelés oka a *Galton-féle deszka* analógiájával megmagyarázható és az eloszlás számítható, de az eloszlás hatása az anyagátadásra már igen összetett probléma. Erre vonatkozó elméleti és kísérleti vizsgálatokat a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszékén* végeztek [39].

Az *álló ágyas* szilárd—folyadék extrakciónál, amely lényegében oldó folyadék gravitációs átszivárgtatása álló szilárd szemcsés halmazon, ugyanolyan hidrodinamikai problémák merülnek fel, mint a szűrésnél, azzal a különbséggel, hogy a réteg jóval vastagabb, mint a szűrőiszap. Ugyanezt mondhatjuk a folyadék adszorpcióra is.

Érdekes áramlástani kérdéseket vet fel a *mozgó ágyas* szilárd—folyadék extrakció, amelynél a szilárd anyag U alakú csőben csiga, vagy láncos vonszoló elemek hatására az oldószerral ellenáramban halad. A magyar szabadalmú J és U extraktorokban a réteg ellenállását üzemi mérésekkel meghatározták, de az elméleti alapokat még nem tisztázták eléggé.

A gáz adszorpció állóágyas berendezései az adszorbens regenerálása során anyag- és hőátadási problémát vetnek fel, mozgóágyas változatánál (hiperszorber) a szemcsés anyagok gravitációs áramlásának érdekes eseteivel találkozunk. Alap kutatások e téren hazánkban alig folytak, a tervezéshez szükséges értékeket félüzemi méretű berendezéseken mérték ki (*Magyar Ásványolaj és Földgáz Kísérleti Intézet*).



c) *Egyéb oszlopszerkezetek.* Az abszorpciónál és gázhűtésnél használt üres, permetezett oszlopokban a folyadékporlasztás már ismertetett problémái merülnek fel, különös tekintettel a porlasztási kúp legnagyobb átmérője, illetve forgó tárcsás porlasztás esetében a folyadékcseppek röppályája tekintetében. Itt nem cél ugyanis az oszlop falának nedvesítése. Nedvesített falú oszlopokat is alkalmaznak anyagátadási, ill. gáz portalanítási célokra. A probléma itt is a folyadékfilm képzése (lásd a III. fejezet 2. pontját).

Szolvens extrakciónál használják a kis átmérőjű magas üres oszlopokat, amelyekben pl. felülről lefelé áramló nagyobb sűrűségű folyadékfázisba kisebb sűrűségű folyadékot diszpergálnak és ez cseppek formájában felfelé áramlik. Ezeknél az oszlopoknál két áramlástechnikai probléma jelentkezik, az egyik a cseppképződés folyadéknak folyadékba diszpergálásakor, a másik a nehéz fázis egy részének visszaáramlása és ezzel a szétválasztás élességének lerontása. A cseppképződés kérdésével a *Nehézvegyipari Kutató Intézet* foglalkozott, de általános érvényességű összefüggések még ma is hiányoznak.

A szolvens extrakciónál (de kisebb jelentőséggel a desztillációnál is) használják a rotációs kolonnákat, azaz olyan oszlopokat, amelyekbe hossz-tengelyük mentén tárcsák vagy egyéb keverő elemek vannak. Igen bonyolult áramlástechnikai jelenségek kapcsolódnak anyagátadási kérdésekkel. Az RDC kolonnák (Rotating Disc Contactor) területén értékes kísérleteket végzett a *Nehézvegyipari Kutató Intézet*.

Az utóbbi években tűnt fel és mind nagyobb jelentőségre tesz szert a habkolonna. Túlfolyós, szitatányéros kolonna, amelyben a tányérokön habréteg áramlik. Alkalmas, mint megnövelt folyadékfelület anyagátadási műveletekhez, de mint kis ellenállású nagy felületi feszültségű réteg, pl. gázok portalanítására is. Elméleti alapjai csak igen hézagosan vannak kidolgozva számításokhoz alkalmas mélységben. Kutatásra várnak a habréteg áramlási viszonyai, a habréteg aktív felületének és ellenállásának meghatározása, de megoldásra várnak — az előbbiek ismeretében — az anyagátadási törvényszerűségek is [33].

d) *A diffúziós műveletek egyéb berendezései.* Az előzőkben a diffúziós műveletekkel kapcsolatos hő-, ill. áramlástechnikai problémákat csupán az oszlopszerkezetekre korlátoztuk. Csaknem minden diffúziós művelet berendezése vagy önmagában, vagy valamilyen kiegészítő berendezéssel, kapcsolódik valamelyik hidromechanikai művelettel (pl. a desztillációnál és abszorpciónál az átbuborékolatással történő keverés; a szilárd—folyadék extrakciónál a keverés, ülepités vagy szűrés stb.).

A legváltozatosabb probléma-kapcsolatokat e téren a szolvens extrakció mutatja, ahol a teljes művelet keverés—ülepités—oldószer visszanyerés (desztilláció). E művelet sorozatból az első kettő igényli a legtöbb alap- és ipari kutatást, amelyek közül az extrakciós oszlopok ismertetésénél néhányat már megemlítettünk. A szolvens extrakció műveletének másik jellegzetes beren-

dezése a keverő—ülepítő (mixer-settler) rendszer. Az első lépés az anyaoldat és az oldószer bensőséges érintkeztetése. Ez történhet fibrilláris, ill. lamináris difformálással, vagy diszpergálással, amelyek közül a legtöbb problémát a diszpergálás okozza. A túlságosan finom diszperzióképzéssel az extrakció ideje lecsökken, de a szétválás (ülededés) ideje aránytalanul megnő, sőt esetleg stabil emulzió keletkezik.

A klasszikus mixer-settler rendszerekben a diszpergálást keverőszerkezettel, a szétválasztást gravitációs ülepítőben végzik. Kombinált berendezésként a keverős diszpergáló után centrifugál-szeparátort alkalmaztak a szétválasztás meggyorsítására. A fejlődés következő lépése az extraháló centrifugák kialakítása volt, amelyeknél mind a diszpergálás, ill. difformálás, mind a szétválasztás centrifugális erőterben történik, ugyanabban a berendezésben.

Magyarországon mindegyik módszer felderítésére végeztek és végeznek ma is alap- és ipari kutatásokat. A *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Műveletek Tanszékén*, ill. a *Szerves Vegyipari Kutató Intézetben* a mixer-settler rendszerekkel érték el jelentős elméleti és gyakorlati eredményeket, az extraháló centrifugák területén a *Budapesti Vegyipari Gépgyár* szovjet szabadalom és kooperáció alapján fejlesztette ki az *SU—19* típust, amelynél a folyadékfázisok keverését beépített fuvókákban végzik.

Az áramlástechnikával kapcsolatos kísérletek azonban az említett berendezések területén még egyáltalán nem tekinthetők befejezettnek. Kísérletek szükségesek még olyan diszpergáló keverőelemek kialakításához, amelyek egyenletes cseppnagyságot szolgáltatnak. A keveréshez hasonlóan a diszperzióképzésnél is szükséges a hatásosság fogalmának meghatározása és megfelelő vizsgálati módszer kidolgozása. Megoldásra vár az emulziók szétüledéséhez a kolloidikai és apparatív feltételek meghatározása.

## V. A vegyipari műveletek fejlődési irányainak hő- és áramlástechnikai vonatkozásai

Ez a probléma két részre tagolható. Az egyik a már hagyományos elvek alapján kialakított új konstrukciókkal kapcsolatos kutatási és kísérleti igények. Ezek ismertetése jelen tanulmányban túlságosan messzire vezetne, mert jóformán minden művelet minden berendezését érinti. E téren az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* 1969-ben 6—709/1—IT számmal többszáz oldalas tanulmányt készített részletezve mind a gyártmányfejlesztési, mind a szükséges kutatási, ill. kísérleti feladatokat.

Számos alapkutatást igényelnek az új alapelveken felépülő vegyipari műveletek. Az új alapelvek közös vonása, hogy kalorikus, valamint diffúziós műveleteket és reakciókat vékony mozgó anyagrétegben vagy vibráló, pulzáló áramlásban kell végrehajtani. Így pl. a filmbepárlókhoz hasonlóan vékony

filmben végeznek el olyan akár erősen exoterm, akár erősen endoterm reakciókat, amelyek nagyobb tömegű anyagáram esetében már nehezen kézben tarthatók.

A szolvens extrakciónál már ma is alkalmazzák a szitatányéros pulzáló kolonnát, amelynél kisebb oszlopméretek mellett sokkal jobb szétválasztást érnek el, mint pulzálás nélkül. A pulzálás elősegíti az érintkező fázisok felületének újraalakulását és a hajtóerőt szolgáltató koncentrációkülönbség fenntartását. Ezt az elvet újabban a többi diffúziós műveletnél is jó eredménnyel alkalmazzák, egyelőre csak laboratóriumi méretben. Mindegyik területen kutatási téma még az optimális frekvencia, ill. amplitúdó alapösszefüggései.

Szilárd szemcsés halmazoknál a vibráltatás az, amellyel a hő- és anyagátadási műveletek időbeni lefolyása fokozható. Az eddigi kísérletek főleg a szárítás és a szilárd—folyadék extrakció vonalán mutattak jó eredményeket. Kutatási témaként itt az optimális frekvencia, amplitúdó és rétegvastagság alapösszefüggéseinek meghatározása.

## VI. A hazai kutatási helyzet a vegyipari gépészet területén

Mint a bevezetőben említettük a hazai vegyipari gépészeti kutatás a felszabadulás előtt és a felszabadulás utáni években teljesen hiányzott. Az ipari kutató intézetek megalakulásával technológiai eljárások kutatásával kapcsolatban mellérendelt és melléktémaként előfordult, de ez nem volt elegendő ahhoz, hogy akár a vegyipari gépgyártás, akár a gyártmányok fejlesztésére számottevő hatással legyen. Vegyipari gépészeti kutatás elsőnek a *Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tanszék* laboratóriumában indult meg félüzemi méretben. Később a *Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Kémiai Kutató Intézete* gépészeti osztályának laboratóriuma csatlakozott a kutatásokhoz és kísérletekhez főleg a fluidizáció alkalmazása területén. (A vegyipari műveleti kutatások terén kedvezőbb volt a helyzet, mert sokkal több kutatóhely működött és működik még ma is.) Jelenleg a technológia-műveletek és műveletek-gépészet határterületeken végzett kutatásokra az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* kölcsönéből kutató és kísérleti bázist létesít a *Vegyiműveket Tervező Vállalat* Miskolcon, prototípusok kísérleti méréseinek elvégzésére pedig a *Vegyigép Tervező és Fővállalkozó Vállalat* Budapesten.

A vegyipari gépészeti kutató munka jelenleg meglehetősen koordinálatlan. Kutatnak vállalatok műszaki fejlesztési keretük terhére, kutatnak hivatásos intézetek részben a koordinált program, részben megrendelések alapján. Igen sok területen azonos témákon párhuzamosan — a konkurenciától való félelem miatt eltitkolva — dolgoznak. Egy konzervipari segédberendezést pl. öt helyen, az egyik bepároló típust három helyen kísérleteznek egyszerre.

Kétségtelen, hogy ennek a helyzetnek adott esetben lehet a műszaki fejlesztést serkentő hatása, de sok esetben csak sokszoros kiadást jelent.

A sikeres vegyipari gépészeti kutatások az egyes akadémiai bizottságok között szorosabb kooperációt tesznek szükségessé, mert számos kutatási eredmény realizálódásánál pl. szilárdságtani vagy szerkezeti-anyag problémák jelentkeznek, mint újabb kutatási témák.

#### IRODALOM

1. Perry's Chem. Engineers Handbook. Mc Graw-Hill 1963.
2. HOLLAND, F. A.—CHAPMAN, F. S.: Liquid Mixing. Reinhold 1966.
3. Keverők ellenállástényezője. Tanszéki kutatási jelentés 1964\*.
4. LIENERTH, A.: *Periodica Polytechnica* 3, I.
5. SU, Y. S.—HOLLAND, F. A.: *Chem. and Proc. Engineering* (1968), VIII, P 77—IX, P 110.
6. Keverési kísérletek összefoglaló értékelése. Tanszéki kutatási jelentés 1964.
7. Keverés hatásossága. Tanszéki kutatási jelentés 1963.
8. MARCHALL, W. R.: Atomisation and Spray Drying. *Chem. Engineering — Progr. Monograph Series* (1964).
9. Olvadékok granulálása forgó fúvókával. Tanszéki kutatási jelentés 1964—1968.
10. SZENTGYÖRGYI, S.: Budapesti Műszaki Egyetem tudományos ülésszaka 1967 (I. kötet, 1968. old.).
11. Alumíniumhidroxid paszta porlasztása. Tanszéki kutatási jelentés 1969.
12. HORÁNYI, R.: *MTA VII. Oszt. Közl.* (1969).
13. LEVA, M.: Fluidizáció. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964.
14. Szinterezett bronz szűrőelemek vizsgálata. Tanszéki kutatási jelentés 1967.
15. FECSKE, A.—KISS, L.: *Gép* (1969), I.
16. BLICKLE, T.: A fluidizációs eljárás készülékei, alkalmazási területe és számításai. Akadémiai Kiadó, Budapest 1963.
17. ZENZ, O.: Fluidization and Fluid Particle System. Mc Graw-Hill 1968.
18. PÁPAI, L.: *Periodica Polytechnica* 10, IX.
19. CREMER—DAVIES—WATKINS: Chemical Engineering Practice. Butherworths Scientific Publications, London 1956—1960.
20. WALKER, W. M.—REISING, G. F. S.: *Chem. and Proc. Engineering* (1968), XI, P 95—103.
21. KERN, D. Q.: Process Heat Transfer. Mc Graw-Hill 1950.
22. SZENTGYÖRGYI, S.: *Magyar Kémikusok Lapja* (1962), IX.
23. A léghűtés technikájának újabb irányai. OMFB tanulmány 1969.
24. Bordácsöves léghűtők hűtadási tényezője és ellenállási tényezője. Tanszéki kutatási jelentés 1966.
25. SHELLAND, A. H. P.: Non Newtonian Flow and Heat Transfer. Willey, New-York 1967.
26. RANT, Z.: Verdampfen in Theorie und Praxis. Verlag von Theodor Steinkopp, Dresden u. Leipzig 1959.
27. KOH, J. G. Y.: *Trans ASME* (Ser. C) 84 (1962) I, 55—62.
28. TREYBAL, R. E.: Diffúziós vegyipari műveletek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961.
29. KRISCHER, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik (KRÖLL, K.: Trockner u. Trocknungsverfahren). Springer Verlag 1959.
30. NORMAN, W. S.: Absorption, Distillation and Cooling Towers. Longsman 1962.
31. TOOR, H. L.: *A. J. Ch. E. Journal* 3 (1957), 198.
32. SZENTGYÖRGYI S.—PARTI, M.: *Gép* (1968), IX.
33. KAFAROV, V. V.: Az anyagátadás alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967.
34. Elárasztási jelenségek vizsgálata töltött oszlopokban. Tanszéki kutatási jelentés 1964.
35. SZÁNTAY, B.: *Gép* (1968), IX.
36. Szelepes tányérok hidrodinamikai vizsgálata. Tanszéki kutatási jelentés 1968.
37. FÁBRY, Gy.: Gyűrűs rácsanyag vizsgálata. Kandidátusi disszertáció 1967.
38. SHERWOOD, T. C.—PIGFORD, R. L.: Absorption and Extraction. Mc Graw-Hill 1952.
39. PARTI, M.: A folyadék-eloszlás egyenlőtlenségének vizsgálata töltött oszlopokban. Doktori értekezés 1967.

\* A felsorolásban említett tanszéki kutatási jelentéseket a Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mészgazdasági Iparok Tanszéke készítette.

**Strömungs- und wärmetechnische Beziehungen der Maschinen in der chemischen Industrie.** Die Verfasser geben ein Situationsbild und vergleichen den wissenschaftlichen Stand der hydrodynamischen, kalorischen und Diffusionsvorgänge auf dem Gebiet der Chemieindustrie im Ausland und in Ungarn. Sie berichten kurz über die einheimischen Forschungsergebnisse. Die Zusammenhänge der Entwicklungstendenzen der Prozesse in der chemischen Industrie mit der Wärme- und Strömungstechnik, sowie die Forschungsmöglichkeiten in Ungarn und die Verwirklichung der Forschungsergebnisse in der Industrie werden zusammengefaßt.

**Relations of Chemical Machinery with Fluid Mechanics and Thermodynamics.** Describing the situation the authors draw a parallel between the scientific levels abroad and in Hungary in the field of hydrodynamic, thermal and diffusion processes in the chemical industry and give a short account of the research results in Hungary. They summarize the relations between thermodynamics and fluid mechanics and the trend in the development of chemical industrial processes, the possibilities of research in Hungary and the realization of the results in the industry.



# TUDOMÁNYOS HELYZETKÉP A SZÁRÍTÓGÉPEK ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI VONATKOZÁSAIRÓL\*

ENDRÉNYI SÁNDOR\*\*  
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

## I. Bevezetés

A szárítás egyike a vegyipari műveleteknek és közkeletű értelmezés szerint a termikus szétválasztási műveletek sorában foglal helyet. E fogalmilag szűkített behatárolás ellenére is helyzete a vegyipari műveletek között különlegesnek tekinthető. Ennek magyarázata az, hogy a műveleten belül mind a szárítási technológia, mind a szárító berendezések tekintetében olyan szokatlan mértékű eltérések mutatkoznak, mintha nem is ugyanazon művelet megnyilvánulásairól lenne szó. A szárítási művelet kissé behatóbb megismerése már fényt derít ennek a különleges változatosságnak az okaira. A szárítási műveletnek ugyanis anyagai, berendezései, technológiája, sőt tudományos vonatkozásai rendkívül sokrétűek. Minthogy alig van iparág, amelyben a szárításnak szerepe, sőt jelentősége ne lenne, a művelet a legkülönbözőbb anyagok széles skáláját öleli fel, azokon lényeges átalakításokat hajt végre, rendkívül hatékony anyagtulajdonság- és minőségformáló befolyással rendelkezik; ezen felül anyagok és gyártási célok szerint annyira széles körű és változatos technológiákkal dolgozik, hogy ezek mindegyike úgyszólván különálló műveletként fogható fel.

Hasonlóképpen nagy eltérés mutatkozik az alkalmazott szárító berendezésekben, rendeltetés, szerkezet, méret, alak, fűtőközeg (energiahordozó), hőközlési rendszer, áramlástechnika stb. szempontjából is. Ez a magyarázata annak, hogy a szárító berendezések gyártása sok országban nem csupán gyártási szakág, hanem önálló ipar, sőt tömeggyártásjellegű nagyipar, jóllehet az egyedi megoldások (típusok) zömmel ma is döntő helyet kérnek a gyártásban. A szárítógépgyártásnak rohamos fejlődése az utóbbi évtizedben mégis amellet látszik tanúságot tenni, hogy a gyártás kifizetődő, ami viszont a szárítás, ill. szárító gépek alkalmazásának rohamos térnyerése mellett egyben ennek a műveletnek növekvő ipari és gazdasági jelentőségét igazolja és szinte a jövőbe mutatóan utal ilyen jellegű hazai problémáink megoldatlan kérdé-

\* Megvitatva a Magyar Tudományos Akadémia Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tudományos Bizottságának 1969. április 28-i ülésén.

\*\* DR. ENDRÉNYI SÁNDOR; Budapest V., Régiposta utca 5.

seire. A művelet egyre szélesebb körben való elterjedése — hő- és energiaigényessége miatt — hovatovább nem alábecsülhető energetikai vonatkozásokra is rátereli a figyelmet.

Tudományos problematikája is szokatlanul bonyolult és számos tudományág területét öleli fel, ill. eredményeiket, módszereiket felhasználja, alkalmazza. Ilyenek többek közt a termodinamika [termosztatika és nem egyensúlyi folyamatok termodinamikája (irreverzibilis termodinamika)], transzportfolyamatok, áramlástan (hidro- és aerodinamika), hő- és anyagátadás, fizikokémia, kémiai technológia, kolloidika, vegyipari művelettan, energetika, nedves levegő fizikája, szabályozástan, folyamatszabályozás és automatika, műszer- és mérés technika, elektrotechnika, matematika, mechanika, fizika stb., valamint a műszaki tudományok és segédtudományok számos fejezete. Ezek egy-egy kérdés kifejtésének, ill. megoldásának keretében többnyire egybefonódva, ill. összeépülve jelennek meg. Számos olyan téma is van, amely egyszerre több címszó, ill. diszciplína köréhez tartozik.

Az eddigi fejtegetések is már sejtetni engedik, hogy a szárítási műveletek osztályozása, ill. rendszerbe foglalása nem egyszerű feladat. Egységes alapon nem is lehetséges, csakis több szempont szerint, ill. ezek kombinációja alapján. Ilyen szempontok: a szárítási művelet célja, anyaga, technológiája, iparági területe, hőközlési rendszere; a szárító berendezés rendszere (pl. dobszáritó, szalagszáritó stb.); az alkalmazott alművelet (pl. fluidizáció, szublimáció stb.); az érintett tudományágak; a szárítási részfolyamat színhelye (pl. anyagfelszín, szárítóközeg, test belseje stb.); az alkalmazott szárítóközeg; a felhasznált fűtőközeg (energia) és így tovább. Ha pl. kiragadjuk a *hőközlési rendszer* szempontját, akkor a konvekciós, kondukciós és sugárzásos szárítás felosztására jutunk. Más példaként a *műveleti rendszert* véve: átáramlásos (lebegtető, transzport, pillanat, fluidizációs, gejzír, vibrációs, porlasztó stb.), szublimációs, vákuum, nagyfrekvenciás stb. szárítás felosztását kapjuk. A mindenkor érvényre jutó felosztásmódot a tárgyalásra kerülő téma-anyag szabja meg.

A szárítási műveletnek az előző fejtegetések alapján nyilvánvalóan szétágazó és szövevényes területét áttekinthetőbbé és kezelhetőbbé teszi néhány korlátozás, ill. témaszűkítés, amit a következőkben alkalmazunk:

a) Szárítóberendezés létesítésével kapcsolatban csupán kutatási és tervezési szempontokat veszünk figyelembe, ezek között is néhány kiemelt témára szorítkozunk, viszont a gyártás problémáit teljesen kikapcsoljuk;

b) az e dolgozat részére megszabott feladat, ill. a címben foglalt meghatározás szerint áramlástan és hőtechnikai területen belül maradunk;

c) a kutatási problémák zömét a konvektív szárítással kapcsolatos tanulmányok vetik fel és szolgáltatják másfajta szárítási módok számára is, ennél fogva tudományos kutatási témák szempontjából a konvekciós szárítást tesszük tárgyalásaink súlypontjává.

Jelen dolgozatunk tehát a konvekciós, néhány vonatkozásban a kondukciós hőközlésen alapuló szárításra, ezen belül pedig néhány szárítási rendszerre terjed ki.

A konvektív rendszer kiemelt, de egyben helyettesítő, ezért integráló jellegű tárgyalása azonban nem kölcsönözhet kizárólagosságot a kapcsolt hő- és anyagátadás szerinti fejtegetések részére, mert a gyártási művelet korszerű szemlélete a műveletet tisztán anyagátadásnak minősíti. Az egyidőben végbemenő hőközlés, ill. mechanikai (villamos) energia-hozzávezetés csupán másodlagos jelenségek, amelyek az alapjelenséggel egyidőben folynak le, és amelyek korszerű szerkezetek kialakításánál úgyszólván versenyben vannak egymással.

A rendkívül terjedelmes anyagra való tekintettel fejtegetéseink nem tarthatnak igényt teljességre, csupán futó áttekintést kívánnak nyújtani az egymásba kapcsolódó és szerteágazó problémák halmazatáról és abban bizonyos vezérszemponthoz szerint, kiragadott példákra építve, járható utat létrehozni, kerülve a doktriner rendszerezést.

A következőkben ismertetjük a folyamatban levő, kidolgozás alatt álló vagy lezárt témákat, rámutatva az elért eredményekre, egyben pedig a kidolgozásra, fejlesztésre vagy éppen megoldásra váró témákra is.

A kutatási témákat két csoportra osztjuk: alap- és gyakorlati (alkalmazott) kutatási tématerületre. Alap kutatások nélkül eredményes gyakorlati kutatás nem képzelhető el. Utóbbiak szárító berendezésekre és készülékekre vonatkoznak, de egy részük fundamentális jellegű, ill. ilyenre visszavezethető.

## II. Elméleti alapok (alapkutatási témák)

### 1. *Anyagok, anyag és nedvesség kapcsolata, szárítási jelleggörbék*

Az anyagok szárítási művelet, ill. technológia szempontjából történő osztályozásának hosszú ideig problematikus kérdése nyugvóponttra jutott. A probléma felvetése nem pusztán a rendszerezés doktriner szempontjából érdekes, hanem lényegbevágó a szárítási folyamatok helyes fizikai és matematikai megfogalmazása tekintetében is. A döntő irányelvet az anyag és nedvesség kapcsolatának fizikai értelmezése szolgáltatta és a nagyszámú felosztási javaslat után a REBINDER által kidolgozott, kolloidikai igényeket is kielégítő rendszer bizonyult időtállóknak. Különös jelentőségre tesznek szert szárítás szempontjából a *porózus* (pórusos) anyagok, ezek között is az ún. *szorptív pórusos anyagok* (ilyen a szárításra kerülő anyagok legnagyobb része), amelyek viselkedése a szárítás különböző szakaszaiban lényegesen eltérő; ez a körülmény a szárító berendezések túlnyomó többségének helyes méretezését erősen befolyásolja. A szárítóberendezések tervezését többnyire gyakor-

lati szakemberek végzik, akik az elmélet árnyalataiban — kis kivétellel — kevésbé járatosak, ezért — világviszonylatban is — egyelőre távol állunk elméletileg is helyesen kivitelezett szárítóberendezések létrehozásától, jóllehet az elmélet érvényrejuttatása a szárítási folyamat korrekt kialakításán felül még jelentős beruházási megtakarításokat is eredményezne.

Anyag és nedvesség együttesét leghívebben a környező gáztérhez való viszony jellemzi, amit a nedves anyag és gáztér higroszkópos egyensúlyát kifejező *szorpciós izotermák* tükröznek. Ezek elmélete terjedelmes irodalmi alapokon nyugszik és LANGMUIR, B.E.T., VOLMER, VAN DER WAALS, FREUNDLICH, POLÁNYI, DUBINYIN stb. izotermákra vonatkozó elméletei és összefüggései alapján messzemenő elméleti következtetéseket sikerült levonni a szorptív anyagok szárítási magatartására nézve, főképpen a szárításnak a stacioner szakasz után következő instacioner, tranziens jellegű szakaszában. A kötési energia értéke az anyag és nedvesség kapcsolatából vezethető le és számszerű meghatározásának legújabb továbbfejlesztése legjobb úton halad azon cél felé, hogy egy kifogástalan méretezési eljárás alapjává váljék. A kötési energia mikrostruktúrájának kutatásában van ugyan még tennivaló, de a mikroporózus adszorptív anyagok (aktív szén, szilika- és egyéb gélek, zeolitok, molekulasziták stb.) kolloidikai és fizikokémiai vizsgálata (pl. az adszorpciós kinetika, az áttörési görbék segítségével) komoly fejlődést mutat és ennek révén nyilván hamarosan sor kerül a szárítási témakör részére is hasznosítható összefüggések létrehozására.

A szárítási folyamatokat jellemző jelleggörbék kidolgozása terén a fejlődés a szuperhigroszkópos szakaszban már majdnem a tetőzés felé halad, az instacioner szakaszban a kötési energia analitikus elemzése a feltárások újabb területét nyitotta meg, és pedig elsősorban az anyag hőmérséklet-emelkedési görbéjének megformulálásával, ami a továbbiakban az instacioner folyamat matematikai leírásához vezet — egyelőre diszperz diszkontinuumokra vonatkozóan — de már úton van porózus kontinuumokra érvényes megoldás megközelítése.

Nem ért el viszont haladást a két szakaszt elválasztó töréspont (kritikus pont) analitikus meghatározása, úgyhogy ezen a téren egyelőre továbbra is empiriára vagyunk utalva. A transzporttulajdonságok (hővezetési tényező, diffúziós tényező, viszkozitás stb.) értékeinek és egyes fizikai paraméterektől való függésének pontosabb és teljesebb megismerése terén egyre fokozódó haladás észlelhető.

## 2. Pszihrometria

A nedves levegő fizikája és az ehhez közvetlenül kapcsolódó pszihrometria a szárítás-kutatásnak egyik legfontosabb munkaterülete. Két- vagy többkomponensű keverékek (pl. vízgőz-levegő, füstgázak, oldószer-gőzök

stb.) paramétereit és az ezek közötti összefüggéseket magában foglaló számos nomogram-szerkezet közül a MOLLIER-féle diagram egyike a leghasználatosabbaknak, számos szárítási alapprobléma sikeres megoldása fűződik ehhez a diagramhoz. Így a nedves hőmérséklettel kapcsolatos rendkívül részletes vizsgálatok, szabad folyadékfelszínre is érvényes korrekciótényezőkkel; a telítődési, ill. kiegyenlítődési hőmérséklet fogalmának újabban hidrodinamikai háttér elé állítása, valamint kiterjesztése a szárítás instacioner szakaszára; a szárítási kapacitás és a fajlagos szárítási potenciál grafikus-analitikus elemzése és optimális mezőinek megjelölése a diagram területén; a szárítandó anyag állapotváltozásainak figyelembevétele és kísérletek önálló anyag-állapotváltozási diagramok létrehozására, részben ezen állapotváltozás átvitelére a szárítóközeg diagramjára; az entalpia – összetétel diagramban végrehajtható állapotváltozási szerkesztések kiterjesztése stb. — mindezen területen eredményes vagy ezzel kecsegtető munkálatok folytak, ill. vannak folyamatban (egyelőre  $Le=1$  esetében, vízgőz-levegő-keverékre).

A szárítás instacioner szakaszának vizsgálata, ill. az itt felmerülő különleges problémák megoldása a rendelkezésre álló diagramokban: különleges és fontos vetülete a kutatási törekvéseknek. Az anyagnak és kötött (kötési energiát jelző) nedvességnek mintegy önálló fázisként (szorptív fázis) való felfogása és fázisváltozási határgörbével való jellemzésének első lépése — az entalpia – összetétel diagramban való ábrázolással együtt — megtörtént, egyelőre nem lezárt eredménnyel. Konkrétabban végződtek azok a kísérletek, amelyek az egyen- és ellenáramú szárítás instacioner szakaszának grafikus feltüntetésére irányultak, valamint ezen állapotváltozásoknak az anyag-entalpia – anyagnedvesség diagramba való bevezetése is. Ennek visszavitele az  $i-x$  diagramba a szorptív anyagok instacioner állapotváltozásának teljes grafikus ábrázolásához vezetett, egyben lehetővé tette — bizonyos egyszerűsítő feltételek mellett — diszperz anyagokra vonatkozóan a Lewis-tényező grafikus meghatározását, ezzel fontos dimenzió nélküli kritériumot nyújtva szorptív anyagok  $i-x$  diagramjának jellemzésére.

### 3. Konvekciós szárítás

*a) A szuperhigroszkópos szakasz.* A kutatás figyelme a nedvességmozgások színhelyeire irányul. E színhelyek legjelentékenyebbje az anyag felszíne, ahol az odaáramló nedvesség fázisváltozástól kísérve, gőzalakban a környező gáztérbe diffundál (párolgás). Elsősorban szabad folyadékfelszín párolgása nyert mintázást fizikai modellel, nyugvó és áramló gáztérben, majd a test felszínén elhelyezkedő folyadék párolgása, ugyancsak nyugvó és áramló gáztérben. Az anyagátadást kifejező, a határréteg-elméleten nyugvó kritériális összefüggések, valamint a COLBURN—CHILTON-féle átadási ( $j$ ) tényezők használata a szárítás e szakaszában tisztázták az anyagátadás tényezőjének



meghatározásmódját lamináris és turbulens áramlásokra egyaránt. Beható vizsgálatok mentek végbe a fellépő, ill. szükséges hajtóerő kiszámítására nézve, a legkülönbözőbb anyagátadási feltételeknek megfelelően; utalunk SPALDING e téren végzett jelentős munkásságára, a hajtóerő általa megjelölt meghatározásmódjára változó feltételek mellett, többek között egyidejű hő- és anyagátadás esetében is.

Ezen ismeretek birtokában a gyakorlatilag olyannyira fontos intenziválás kérdésével a konvektív szárítási folyamatban, sikerrel lehetett megbirkózni. Ehhez kiegészítésképpen a felülettel párhuzamos áramlások esetén kívül az ütközéses áramlás témáját (a szabad turbulens légsugár elméletét, az impakt szárítást) is be kellett vonni a vizsgálatokba, ami messzemenő gyakorlati eredményekkel járt. A tiszta anyagátadás vizsgálata során érdekes kísérleteket végeztek naftalinból készült modell felületi elpárolgására nézve, ütközéses áramlás esetén.

A párolgási jelenségek területén figyelmet érdemel a termodiffúzió jelensége (LUDWIG—SORET effektus), aminek szárítási vonatkozásain kívül izotópok szétválasztásában, még pedig újabban mind gázok, mind folyadékok esetén is, mutatkozik jelentősége.

A felszíni jelenségek vizsgálatánál a szárítási műveletek többségében feltételezhető, hogy a gázáram és anyag határfelületén kémiai reakciók nem mennek végbe és a határfelületen a fázisok termodinamikai egyensúlyban vannak. Ettől a feltételezéstől eltérő esetek további kutatás tárgyát képezhetik.

A test belsejében végbemenő moláris jellegű nedvességmozgást (diffúziót) a FICK-törvény írja le. Az állandósult áramlás szakaszában is fellépnek változó koncentráció-gradiensek és így a nedvesség-, valamint hőmérséklet-eloszlás a test belsejében a szuperhigroszkópos szakaszban is vizsgálat tárgyát képezi. A FOURIER-féle hővezetési differenciálegyenlet analógiájára a FICK-féle második tétel az említett eloszlások lefolyását az idő és helyi ordináták függvényében írja le és érinti a kritikus pont kérdését, valamint ennek viszonyát a higroszkópos ponthoz. A kettő közötti eltolódás tehát már ebben a szakaszban is fennáll, mértéke függ az anyag alakjától és kiterjedésétől is. Így pl. kis-méretű szemcsékből álló diszpergált anyagnál az eltérés nem jelentékeny, tekintettel a nedvességeloszlásban mutatkozó csekély mértékű egyenlőtlen-ségekre. A belső nedvesség- és hőmérsékleteloszlás vizsgálata már nem közöm-bös, ha jelentékeny térbeli kiterjedésű anyagról van szó. Az eloszlási görbék felvételére nagyszámú mérés ment végbe, de a legbehatóbb vizsgálatok sem vezettek eddig a szuperhigroszkópos szakasz határát jelentő kritikus pont értékének analitikus meghatározására.

A konvektív szárítási folyamatok túlnyomó többségében a jelenség gáz-oldali lefolyását az  $i-x$  diagramban egyszerűen ábrázolható adiabatikus állapotváltozás szolgáltatja, de ezen állapotváltozás kiegyenlítődesi hőmérsék-

lete (gőz—gáz keveréknél ideális esetben a keverék nedves hőmérséklete) bekövetkezésének hidrodinamikai feltételeire nézve a kritériális egyenletek semmiféle felvilágosítást nem adtak; ilyen irányú vizsgálatok azonban folyamatban vannak.

Ebben a szakaszban az anyaghőmérsékleti görbét állandósult értékűnek szokták tekinteni. Az előzők alapján azonban jogosultnak látszik ennek a felfogásnak bizonyos mértékű revíziója.

A szárítási időtartamnak (átfutási idő) meghatározását illetően különböző analitikus számítások léteznek. Érdekes a KRISCHER által javasolt grafo-analitikus eljárás, ami azonban kísérletileg felvett, olyan szárítási sebességi diagramból kiindulva határozza meg a szárítás időtartamát, amelynél a szárítási sebesség nem az idő, hanem az anyagnedvesség függvényében van feltüntetve.

A hőcserélőknél, hűtőtornyoknál stb. eredményesen alkalmazott, átadási egységekben történő méretezési eljárás adaptálása szárítási folyamatokra még csak egyes esetekben került végrehajtásra, de kifejlesztése elé jogos reményekkel lehet tekinteni.

b) Az *instacioner szakasz*. Szorosabban véve ebbe a fejezetbe tartozik a szorptív anyagok anyagátadása, ill. egyidejű hő- és anyagátadása. A téma fontosságára jellemző, hogy a szárítási tárgyú konferenciák anyagának túlnyomó többségét ez a téma szolgáltatja.

A nedvesség- és hőmérsékleteloszlás ismeretének jelentősége ebben a szakaszban fokozódik. Az eloszlás mennyiségi meghatározására kiinduláspontot azonban ezidőszerezt az empiria és a feltevések szolgáltatnak, matematikai megformálása évek során nem sokat fejlődött. Még egy egyszerűsített modellből is azonban nagyon hasznos felvilágosításokat kaphatunk a kritikus és higroszkópos pont eltérésére nézve. A modell létrehozásának feltétele változatlanul a higroszkópos pont ismerete (a szorpciós izotermákból).

A hasonlósági elmélet ezen szakaszra, ill. a szorptív fázisra nézve még nem nyert kifogástalan értelmezést és ezért kritériális egyenletekkel sem rendelkezünk, bár erre nézve történtek kísérletek (VAINBERG, LEBEDEV); ugyancsak ez a hiány mutatkozik a  $j$  tényező értelmezésében is. Ezért nem számíthatók az anyagátadás, valamint az egyidejű hő- és anyagátadás tényezői e szakaszban a hagyományos módszerekkel. Ez a megállapítás SPALDINGnak az a) pontban hivatkozott megállapításaira (hajtóerő stb.) is vonatkozik.

A modell — további egyszerűsítésekkel — a párolgás és nedvességvándorlás, ill. diffúzió folyamatait igyekszik megjeleníteni; műszaki számításokhoz elfogadható pontosságú alapot nyújt a párolgási zóna süllyedésére vonatkozó elmélet (szárítási tükör, O. KRISCHER).

Matematikailag kifogástalan megoldást csupán a transzportfolyamatok elméletének és a nem egyensúlyi folyamatok termodinamikai tételeinek alkalmazása tesz lehetővé. Ezen a területen hatalmas munka folyt. A tudományág

úgyszólván valamennyi számottevő művelője nagyszabású alkotó munkát végzett. Ennek eredményeként nyert differenciálegyenlet-rendszerek megoldásánál mutatkozó nehézségek azonban a rohamosan gyarapodó számú feladat megoldásának kiinduláspontját mindinkább a megmaradási (átadási) egyenletek felé terelték. Az így felállított egyenletrendszerek nem elégítik ki ugyan teljesen a kölcsönhatások figyelembevételével nyert egyenletrendszerekkel szemben támasztott követelményeket, de viszonylagos egyszerűségüknél fogva könnyebben kezelhetők, áttekinthetőbbek és különösebb nehézség nélkül megoldhatók.

Említést kell tenni arról a módszerről, amely először szorptív diszperz diszkontinuumokra, majd szorptív kontinuumokra felállított fizikai modell alapján került kidolgozásra, a testben végbemenő diffúzió tekintetbe vételével, ill. anélkül. Ez a módszer, a hidrodinamikai számításokhoz való kapcsolódásra alkalmas relatív tömegsebesség fogalmának bevezetésével kilátást nyújt az elvileg létezőnek tekintett, valóságban e téren nélkülözött kritériális rendszer kiépítésére, a turbulencia-tényezővel (ECKERT—RAITHBY stb.) való összefüggés és ezzel a szorptív fázis hasonlósági és határréteg-elméletének létrehozására, legalábbis közelítőleg. Ennek az irányzatnak kezdeti lépései abban mutatkoznak, hogy elméleti megfontolások alapján a Lewis-tényező e fázis jellemző invariánsának bizonyul, majd kapcsolatot talál a  $Le$  számmal, további összefüggések kiépítésének kiinduláspontjaként. Az eljárás egyben új értelmezését adja a kiegyenlítődési hőmérsékletnek, ennek hidrodinamikai hátterével együtt.

Érdekes, hogy az eddig nyert eredmények szerint a gázáram szorptív fázist kísérő állapotváltozása egyidejű hő- és anyagátadás esetén — szemben az eddigi felfogásokkal — non-adiabatikusnak adódik.

Az eljárás analitikus meghatározását adja az anyaghőmérsékleti görbének is, és mind ezt, mind a gázáram állapotváltozásának ábrázolását lehetővé teszi az  $i-x$ ,  $I-X$  (anyagentalpia—anyagnedvesség), entalpia—összetétel diagramokban, sőt lefekteti a szorptív fázisú egyen- és ellenáramú állapotváltozás ábrázolási módszerét.

Nem terjed a vizsgálatok érvényessége arra az esetre, ha az áramló közeg és a szorptív fázis érintkező felületén nincs termodinamikai egyensúly és/vagy, ha az áramlásban résztvevő közegek egymáshoz viszonyítva kémiaiilag nem semlegesek.

Folyik e fázisban végbemenő folyamatok intenziválásával kapcsolatos kutatómunka is, többek között turbulens szabad gáz sugar ütközésének alapul vételével.

#### 4. Kondukciós szárítás

Mind a stacioner, mind az instacioner szakaszban az egyensúlyi hőmérsékletek meghatározása az idevágó elméleti vizsgálatok egyik első tárgya. Konvektív szárításnál az egyensúlyi hőmérséklet — a stacioner szakaszban — az egyidejű hő- és anyagátadás feltételéből közvetlenül adódik, konduktív szárításnál viszont — minthogy az áramló közegnek többé nem szerepe a hőközlés, hanem csupán a nedvesség-transzport — megszűnik a kiegyenlítő-dési hőmérséklet eddigi értelmezése és ehelyett a fűtőközeg, a fűtött felület, az anyag és az áramló gáz hőmérsékletei közötti egyensúly feltételeiről kell beszélni.

Az egyensúlyi hőmérsékleteket analitikus és grafikus eljárással egyaránt sikerült meghatározni, sőt módszert találni a különböző áramlási feltételekhez igazodó anyagátadási tényezőknek megfelelő egyensúlyi állapotok megállapítására, továbbá az anyagátadás kiszámítására. Ebben az eljárásban természetesen szerep jut a teljes hőátadási tényező meghatározásának az állapotváltozás (anyagnedvesség-tartalom) függvényében; e célra analitikus módszer kidolgozására került sor.

Érdekes az a szerkesztési eljárás, amely az entalpia—összetétel-rendszerben az egyensúlyi hőmérsékletek megállapítására volt található, és ami az  $i-x$  diagram szerinti szerkesztési eljárásnak mintegy az ellenőrzése.

A talált grafikus módszerek egyszerűsége és áttekinthetősége különösen alkalmas az intenziválás feladatainak megoldására és egy előírt feladathoz tartozó paraméterek meghatározására. Lényeges szerepe van ezen eljárások kidolgozásában a *konvektív analógia elvének*, amely — ha nem is teljes mértékben — eredményesen tette lehetővé a konduktív szárítás esetének — ami nem adiabatikus állapotváltozás — egyenértékű konvektív adiabatikus szárítási folyamattal való helyettesítését. Noha ez az analógia egyelőre csak a stacioner (szuperhigroszkópos) szakaszra volt érvényesíthető, szorptív anyagok konduktív szárításának instacioner szakaszában magának az állapotváltozásnak a lefolyására nézve értékes felvilágosításokat nyújtott.

Ez a témakör kutatás szempontjából még nem tekinthető lezártnak. Ugyanez áll pl. lemezszerű anyagok belsejében végbemenő diffúziós folyamatok egyes érdekes jelenségeinek, amelyek főként a váltakozó konduktív hőimpulzusok hatására jönnek létre és sajátos időszakos áramlás-egyensúlyi effektusokban mutatkoznak, további kielemezésére.

### III. Gyakorlati (műszaki) tervezési és kutatási problémák

Ezek a témakörök a II. fejezetben tárgyaltakon alapulnak és azok gyakorlati továbbfejlesztését jelentik.

### 1. Konvekciós szárítóberendezések

Az ebbe a kategóriába tartozó szárítóberendezések közös problémáit, ill. kutatási feladatait tekintjük át ebben a pontban. Legfontosabbak a méretezési problémák. Konvekciós szárító-berendezések méretezési eljárásaiban mutatkozó hiányosságok és lazaságok felszámolásában nagy haladás mutatkozik: a tartózkodási (átfutási) idő meghatározása; a többfokozatú, a keveréses, a többfokozatú recirkulációs, az egyen-, ellenáramú, az előzőkkel kombinált stb. szárító-berendezések egzakt technológiai, valamint kalorikus és légtechnikai méretezési eljárásai — beleértve az instacioner szakaszt, ill. az itt szükséges hőátadó felületek pontos számítását — az e téren régebben érezhető bizonytalanságot és esetlegességet kiküszöbölték. Újabb törekvések az átadási egységekben való méretezés bevezetésére, ill. általánosítására irányulnak.

Az intenziválás gyakorlati számítási problémáinak elvi kutatási szempontjait a II. fejezet 3a. pontjában ismertettük. Megvalósítása nagy áramlási sebességek alkalmazásával történik, főként az ütközési elv alapján, különböző rendszerű fúvókás, réskifúvású stb. lég(gáz)bevezetés útján. Az aerodinamikailag helyes áramlási viszonyok kialakítása terén még sok a tennivaló.

Az alkalmazott szárító közegek között említést érdemel a füstgázak, továbbá a túlhevített gőz használata, ill. az ezeknek megfelelő méretezési eljárás.

Ide tartozik még az automatizálás és a helyi szabályozás, ill. a teljes folyamatszabályozás kérdéscsoportja is. Ezen a téren nagy haladás mutatkozik ugyan, de a folyamatszabályozás egyelőre még többnyire nem a technológiai folyamatok szükségleteiből és az innen adódó feltételekből (szabályozó körökből), mint inkább a meglevő, gyakran igen fejlett, de a szabályozó folyamat szempontjából nem kellően összehangolt egyedi automatika-elemekből és készülékekből indul ki és ezekhez szabja a folyamat automatizálását.

a) *Porlasztásos szárítás.* Az áramlásos konvekciós szárítási rendszerek egyik legelterjedtebb tagja. Térnyerése az ipar legkülönbözőbb ágaiban és a fogyasztásban is a porított száraz végtermékek iránt rohamosan fokozódó keresletben leli magyarázatát. A porlasztó szárító tehát célgép, amelynél éppen a végtermékhez vezető folyamatok (cseppképződés, szemcseképződés) alakítják ki a hő- és anyagátadási, valamint áramlástanai megoldásokat. A létrejövő igen nagy csepp-összfelület miatt jelentékeny hő- és anyagátadással lehet számolni, annak ellenére, hogy a képződött cseppek és az áramló szárítóközeg közti relatív sebességnek egyesek szerint (pl. PEI) nincs jelentős szerepe. Ezen a címen tehát a hő-, ill. anyagátadási tényező megnövekedésére nem lehet számítani. Az átadó felület megnövekedése mindazonáltal viszonylag kis hőmérsékletkülönbségeket is lehetővé tesz, számottevő teljesítményhozam mellett. A szárító közeg áramlási rendszerének (ellenáram, egyenáram



stb.) megválasztásában — mint általában — a termikus gazdálkodásnak csak másodlagos szerep jut az anyagtechnológiai szempont (hőkárosodás vagy egyéb) mellett. Porlasztó toronyok áramlástani kialakítása terén figyelemre-méltó munkát végzett többek közt a *Csehszlovák Hőtechnikai és Áramlástani Intézet* (Prága-Běchovice).

Tárcsás porlasztó szárítóberendezésekben való szárításra általában viszonylag kis koncentrációjú ( $30 \div 40\%$ ) emulziók mutatkoznak alkalmasoknak. A kutatómunka szuszpenziók porlasztási lehetőségeinek feltárására is kiterjed, valamint arra, hogy nagyobb kezdeti koncentrációjú és viszkozitású anyagok tárcsás úton való beporlasztásának felső határa minél magasabbra tolódjék. Ezen túlmenve már csak fuvókás porlasztás jöhet tekintetbe. Ez — esetleg a berendezés különleges kiegészítésével — pasztaszerű anyagok porlasztásos szárítására is alkalmas (ROMANKOV). Az oldatkoncentráció és viszkozitás változásának hatását a szemcseméretre és a teljesítmény-kihozá- talra beható kutatómunka tanulmányozza.

Tárcsás porlasztón a filmképződés, majd a cseppképződés (tárcsás és fuvókás porlasztón egyaránt), a maximális cseppméret stb. meghatározása a kutatást élénken foglalkoztatja (TROESCH), már csak arra való tekintettel is, mert a hő- és anyagátadás javarésze kimutathatóan éppen ebben a szakaszban megy végbe. A cseppméret csökkentéséhez különleges érdekek fűződnek, mert ez együttjár a fajlagos felület és a hőátadási tényező növekedésével. Hasonló figyelem irányul a szemcseméret-eloszlás, az átlagos szemcseméret, a toronyban tartózkodás időtartama, ülepedési sebesség stb. elméleti meghatározására és a kapott eredmények kísérleti igazolására. Ezek a vizsgálatok a torony méretezésére (toronymagasság) is hatással vannak. Általában a toronyméretezésre különböző módszereket alkalmaznak, ilyen pl. a kamra térfogatára vonatkoztatott hőátadási tényezőn alapuló eljárás. Méretezési szempontot szolgáltat a szemcsék kamrafalra való tapadásának, valamint a diszperz fázisban a szemcsék egymás közötti tapadásának elkerülése. Egységes méretezési rendszer még nem alakult ki és további vizsgálatok szükségesek a diszperzitás és a hő- és anyagátadást befolyásoló áramlástani viszonyok tisztázására és egyéb, eddig meg nem oldott kérdésekre.

A cseppképződés szakaszára a kutatásnak már csak azért is érdemes fokozott figyelmet fordítani, mert a túlnyomóan ebben a szakaszban végbe-menő hő- és anyagátadás adja kezünkbe az intenziválás kulcsát, ezért az áramlástani megoldásokat jórészt erre a szakaszra kell koncentrálni. A helyes kialakítás a toronymagasság méretmeghatározására is kedvező hatású lehet. Egy távolabbi kutatási terület: a nem-newtoni folyadékok cseppképződésének vizsgálata.

Mindeddig nem vették figyelembe, hogy a diszperz fázison belül szorptív anyagok esetén ezek szorptív fázisa is jelen van. Ez az egyidejűség egészen egyedülálló helyzet a szárításkutatásban. A részecskék a II. fejezet 3a. és 3b.

pontban részletezett állapotúak és a környező gáztérben hozzájuk viszonyítva részben adiabatikus, részben nem-adiabatikus állapotváltozás megy végbe. A hő- és anyagátadási tényezők ennek megfelelően alakulnak. A Lewis-szám „eloszlásáról” is lehet beszélni. Ezek a körülmények még nincsenek kellően feltárva és a részletes kutatás igen eredményes hozamúnak ígérkezik.

*b) Különleges konvekciós szárítási rendszerek.* Felsorolásuk nem tarthat igényt a teljességre és így ezúttal csupán azokat említjük, amelyek hazai műveléséről tudomásunk van: fluidizációs, gejíres, örvényréteges, vibrációs, habosító, azeotróp, szublimációs, atmoszférikus-fagyasztásos, adszorpciós, lebegtető, pillanat (flash) stb. szárítások.

Kiragadva ezek közül néhányat, a kutatómunka pl. a gejíres szárításnál, amelynek alkalmazási területe a közepes szemcseméretű anyagok, magvak stb., kiterjed a maximális gejírezhető rétegvastagság és a gejíres rétegben a nyomásesés meghatározására; a szabad térfogat-tényező, a szemcse- és gázsebesség, szemcse-tartózkodási idő, a gázparaméterek eloszlása, az áramlás-tani geometriai méretarányok megállapítására; a fajlagos fagyasztások, a szárítás folyamatossága megvalósításának stb. vizsgálatára. A vibrációs szárítás porszerű, finom és közepes szemcseméretű anyagokra alkalmazható.

A habosító szárítás célja a fajlagos felület megnövelése. Instant termékek (pl. gyümölcsporok) előállítására törekszik. Az atmoszférikus fagyasztásos szárítás, szemben a szublimációval, atmoszférikus nyomáson megy végbe, nagyobb hőmérsékleten. Instant termékeket is előállít.

Az adszorpciós szárítást főként gázok szárítására alkalmazzák. Az adszorbensek, különösképpen a molekulasziták deszorpciós regenerálása alkalmas ad különlegesen nagy kötési energiával rendelkező anyagok vizsgálatára, amint arról a II. fejezetben megemlékeztünk.

## 2. Kondukciós szárító berendezések

Előtérben a korszerű méretezési eljárások állanak. Ezek, a II. fejezet 4. pontjában tematikai bázison, gyakorlatilag kielégítő mértékben megoldásra találtak: adott teljesítményre való méretezés vagy meglevő adottságok mellett egy berendezésből kivethető maximális teljesítmény meghatározása egyaránt feladata lehet a kidolgozott eljárásnak. Az utóbbi feladat egyúttal kiindulási alapja az intenzíválási módszernek, ami főként a papíriparban alkalmazott járulékos teljesítményfokozó berendezések célja. A működési elv az ütközéses szabad légsugáron alapszik. A talált egzakt méretezési eljárás azonban ma még nem örvend nagyobb elterjedtségnek, a gyártók — többnyire világcégek — saját, túlnyomóan empirikus módszerei jutnak érvényre. Ezért, egyébként világszínvonalon álló gépkonstrukciók kalorikus és áramlás-tani méretezése sok kívánnivalót hagy hátra. Pedig a konduktív hőközlésnek megfelelő anyagátadás és a teljesítményfokozó berendezés konvektív anyag-

átadásának aránya, aminek megállapítása az említett eljárás szerinti számítás alapján alapszik, döntően hat ki a beruházási költségekre.

A méretezési eljárás lehetővé teszi a szorptív fázis figyelembevételét és a hőátadó felületnek precíz kiszámítását ebben a szakaszban, valamint az anyagátadási tényező meghatározását, a szokásos közelítő és gyakran hibás átlagolástól eltérő módon.

Nagy hőfokú fűtőközeg (gőz esetén nagy gőznyomás) alkalmazása, az említett eljárással együtt, lehetővé teszi korszerű, nagy teljesítményű, nagy anyagpálya-sebességű megoldások létrehozását, ill. adott konstrukciók ilyenirányú továbbfejlesztését.

## IV. Egyéb problémák

### 1. Energetikai szempontok

A fűtő (hőhordozó) közeg megválasztása (olaj, gáz, földgáz, geotermikus energia stb.);

a mechanikai (villamos) energia és hőenergia egyidejű használatának optimális határvonala;

gőz esetén a szennyezettség (levegő) befolyása a hőátadási tényezőre; hulladékhő-értékesítés;

a gőznyomás megválasztása (konduktív hőközlés esetén konstrukciós, teljesítményi, országos energetikai, gazdaságossági stb. szempontból).

### 2. Áramlástani és hőtechnikai mérések

Az anyagtulajdonságok, fizikai paraméterek, áramlási és hőtani mennyiségek, teljesítmények mérése;

az eloszlások vizsgálata anyagokra (pl. szemcsék), anyagok fizikai paramétereire, dimenzió nélküli kritériumokra stb. nézve;

anyagstruktúrák, határrétegek vizsgálata;

korszerű mérési elvek és mérőeszközök alkalmazása (nagy sebességű fényképezés, száloptika, interferométer, schlieren-eljárás stb.).

## V. Következtetések

A szárítóberendezések és a szárítás kutatásával kapcsolatos fejlesztés főbb irányelveit és célkitűzéseit — mindenkor az áramlástani és hőtechnikai szempontok szem előtt tartásával — a következőkben foglalhatjuk össze:

A szárító berendezések és szárító rendszerek között mutatkozó nagy változatosság — amint azt bevezetőben kifejtettük — nem jelent ezekben

egymáshoz viszonyított alternatívákat, hanem a célkitűzésekből, adottságokból, technológiából stb. eredő szükségszerű megoldásmódokat. Ebből következik, hogy nem új típusok kidolgozására van szükség, hanem meglevő típusok, rendszerek korszerűsítésére, korszerű technológiára, méretezési eljárásra stb.

#### *A tudományos kutatás fejlesztésének főbb irányai:*

A szorptív anyagok szárítási magatartásának további vizsgálata, különös tekintettel a szorptív fázis fellépésére; megfelelő fizikai és matematikai modellek képzése; a hasonlósági elmélet kiterjesztése és felhasználása a hő- és anyagátadási tényezők meghatározásánál, minden hőközlési rendszerben. A diszperz fázisban mutatkozó jelenségek további vizsgálata, figyelembe véve ebben a szorptív fázist. Matematikai méretezési eljárások kidolgozása. Az áramló fázisok határfelületén kémiai reakciók és termodinamikailag nem egyensúlyi állapot figyelembevétele. Nem-Newton-i folyadékok szárítási problémái.

#### *Száritóberendezések fejlesztésének főbb irányai:*

Korszerű méretezési módszerek. Méretezés korszerű paraméterek (pl. nagy hőmérsékletek) alapján. Teljesítménynyomozás (intenziválás). Korszerű energiahordozók, korszerű szárítóközegek választása. Korszerű mérés-technika. Folyamatszabályozás, automatika. Gazdaságosság és optimalizálás. Üzem-biztonság fokozása.

#### *Korszerű segédesszközök igénybevétele:*

Korszerű szárítási, hőtechnikai és áramlástani kísérleti berendezések, korszerű műszerezéssel, automatikával, segédberendezéssel, a IV. fejezet 2. pontja alatt leírt mérési lehetőségek biztosításával. Matematikai és fizikai modellezés. Számítógép bevonása a numerikus értékelésekbe.

### IRODALOM

1. Alumíniumhidroxid-paszta porlasztása és darabos alumíniumhidroxid átáramlásos szárítása. Budapesti Műszaki Egyetem Vegyipari Gépek és Mezőgazdasági Iparok Tan-szék kutatási jelentése, Budapest 1969.
2. BENEDEK, P.—LÁSZLÓ, A.: A vegyészmérnöki tudomány alapjai. Budapest 1964.
3. BLICKLE, T.: A fluidizációs eljárás készülékei, alkalmazásai és számításai. Akadémiai Kiadó, Budapest 1963.
4. BOŠNJKOVIĆ, F.: Technische Thermodynamik. Dresden-Leipzig 1965.
5. CARSLAW, H. S.—JAEGER, J. C.: Conduction of Heat in Solids. London 1959.
6. CHILTON, T. H.—COLBURN, A. P.: Mass Transfer (Absorption) Coefficients — Prediction from Data on Heat Transfer and Fluid Friction. *Ind. Eng. Chem.* (1934).
7. CIBOROWSKI, J.: A vegyipari műveletek alapjai. Budapest 1969.
8. ECKERT, E. R. G.: Introduction to Heat and Mass Transfer. New York 1963.
9. ENDRÉNYI, S.: A konvekciós hőközlésen alapuló szárítás karakterisztikái. *Papírpipari Kutató Intézet Közleményei* (1959).
10. ENDRÉNYI, S.: Heat and Mass Transfer in the Hygroscopic Stage of Drying (Paper given at I. Heat and Mass Transfer Conference in Minsk 1961). *Typlo- i masszoperenosz IV; Goszenergoizdat. Moszkva* 1962.

11. ENDRÉNYI, S.: Heat and Mass Transfer during the Drying Process of Hygroscopic Materials. *Acta Techn. Hung.* (1964).
12. ENDRÉNYI, S.: Some Problems of Heat and Mass Transfer Processes of Sorptive Materials. The Japan Society of Mechanical Engineers, Tokyo 1967.
13. ENDRÉNYI, S.: A Convective Non-Adiabatic Drying Process. *Tyeplo- i Masszoperenosz* 6 (1968).
14. FODOR, L.: *Periodica Polytechnica* 9 (1965), I.
15. FRÖSSLING, N.: Über die Verdunstungsfallen der Tropfen. *Beitr. Geophys.* (1938).
16. GINZBURG, A. S.: Élelmiszeripari szárítás. Budapest 1968.
17. GREGG, S. J.: Surface Chemistry of Solids. New York 1961.
18. GRÖBER—ERK—GRIGUL: Grundgesetze der Wärmeübertragung. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1963.
19. GRUBENMANN, M.:  $i-x$  Diagramme feuchter Luft. Berlin 1952.
20. GRUBNER—JIRU—RÁLEK: Molekularsieben. Berlin 1968.
21. HÄUSSLER, W.: Das Mollier  $i-x$  Diagramm für feuchte Luft und seine Anwendungen. Dresden 1960.
22. IMRE, L.: *Élelmészeti Ipar*, 21 (1967): IX—X.
23. KIRSCHBAUM, E.: Der Verdunstungsvorgang in mathematischer und graphischer Darstellung. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* (1953).
24. KORACH, M.—SASVÁRI, G.: Die Trocknung in der Keramik. *Acta Techn. Hung.* 39 (1962).
25. KRISCHER—KRÖLL: Die wissenschaftliche Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin 1963.
26. LEBEDEV, P. D.: *I. J. H. M. T.* 4 (1961), I.
27. LIGHTFOOT—BIRD—STEWART: *Chem. Enging. Progress Symposium Series* 58 (1956).
28. LEVA, M.: Fluidizáció. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964.
29. LEWIS, W. K.: The Evaporation of a Liquid into a Gas. *Mech. Eng.* (1922).
30. LUKOV, A. V.—MIKHAILOV, Yu. A.: Theory of Energy and Mass Transfer. New York 1965.
31. LIKOV, A. V.: A szárítás elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1952.
32. MOLLIER, R.: Ein neues Diagramm für Dampfluftgemische. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* (1923).
33. MONOSTORI—NÉMETH—PALLAI—SZABÓ—TIMKÓ—ENDRÉNYI: A porlasztószárítás egyes elméleti kérdései. Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület kiadványsorozata. Budapest 1969.
34. PEI, D. C. T.:—GAUVIN, W. H.: *A. I. Ch. E. J.* 9 (1963).
35. RATHBY, G. D.—ECKERT, E. R. G.: *I. J. H. M. T.* 11 (1968), VIII.
36. ROMANKOV, P. G.: *Élelmészeti Ipar* 14 (1960), VIII—IX.
37. SCHEILING, A.: Gőz-gáz rendszerek állapotjelzői. Budapest 1966.
38. SEIDL, G.—SCZIGEL, R.: *Luft- und Kältetechnik* (1966), IV.
39. SZOLCSÁNYI, P.: A termodinamika dinamizálása, I—VIII. *Magyar Kémikusok Lapja*, (1967; 1969).
40. SPALDING, D. B.: Konvektív tömegátadás. Budapest 1968.
41. STRACH, L.—KORGER, M.: Trocknungsforschungen der SVUTT. Vortrag an der Trocknungskonferenz in Budapest, 1960.
42. SZABÓ, Z.: Élelmiszeripari gépek és műveletek. Budapest 1964.
43. SZENTGYÖRGYI, S.—PARTI, M.: Kétkomponensű felületi nedvesség szakaszos konvekciós szárítása. *Gép* 20 (1968), IX.
44. TETTAMANTI, K.: Vegyipari műveletek. Budapest 1965.
45. TURBA—NÉMETH: A porlasztás elmélete és alkalmazása a vegyiparban. Budapest 1962.
46. VAINBERG, R. Sh.: *Inzs. Fiz. Zsurnal* 13 (1967), I.
47. VAJDA, Ö.: Szárítókészülékek számítása. Budapest 1944.



**Scientific Review of the Situation of Fluid Mechanics and Thermal Engineering in the Field of Drying Equipments.** Drying is one of the most widely used and also one of the most diversified operations in chemical engineering and that is true also for its scientific background. These conditions present rather difficulty when classifying the drying operations and systems, and reviewing the situation of scientific research themes. The paper aims at finding an acceptable solution of this problem and also at reviewing the basic research topics in the field of drying (connection between material and humidity, psychrometry of drying, kinetics of drying etc.), while enhancing a thorough knowledge of the instationary stage of drying. On the engineering side, the most important are research and development problems of apparatus and technological methods, but the author deals also with energetic, flow and thermal problems related to drying.

**Wissenschaftliches Gesamtbild über die Lage der Trocknungsmaschinen in strömungs- und wärmetechnischer Beziehung.** Die Trocknung ist eines der am weitesten verbreiteten und zugleich der abwechslungsreichsten Verfahren in der chemischen Industrie. Diese Feststellung gilt zugleich für die damit zusammenhängenden wissenschaftlichen Themenkreise, und diese Umstände erschweren bedeutend die Klassifizierung der Verfahren, die Systematisierung der Einrichtungen und die Skizzierung eines Überblicks der Forschungsthemen. Zielstellung der Arbeit ist, eine annehmbare Lösung dieser Aufgabe, sowie ein Überblick über die auf dem Gebiet der Trocknung auftretenden Themen für Grundlagenforschung zu präsentieren (Beziehung zwischen Stoff und Feuchte, Psychrometrie der Trocknung, Kinetik der Trocknung usw.), wobei auf eingehende Auslegung der mit der instationären Periode der Trocknung zusammenhängenden Probleme besonderes Gewicht gelegt wird. Auf dem Gebiet der Trocknungstechnik haben die größte Bedeutung die auf die Konstruktionen, die Verfahren (Technologie) bezüglichen Forschungs- und Entwicklungsprobleme, aber außer diesen werden auch die mit der Trocknung zusammenhängenden energetischen, strömungstechnischen und wärmetechnischen Probleme behandelt.

# A FÉMTANI VIZSGÁLATOK JELENLEGI HELYZETE\*

FUCHS ERIK\*\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1970. július 20-án]

## I.

Napjainkban már alig tudjuk elképzelni azokat a kezdetleges körülményeket, amelyek között a kohászat a múlt század végéig termelt. A régi gyártási módok sokrétű mesterségbeli tudáson, évtizedes vagy inkább évszázados tapasztalatokon alapultak. A termékek minőségét legfeljebb technológiai próbákkal, kovácsolási kísérlettel vagy töretek alapján tudták vizsgálni.

A rohamosan növekvő mennyiségi és minőségi igényeket csak új gyártástechnológiák bevezetésével, a nehézipar nagyarányú fejlesztésével lehetett kielégíteni. A vasgyárakban a kevésbé termelékeny frisstüzet és kavarást a folytácél tömeges készítése váltotta fel. Tért hódítottak az ötvöztött acélfajták, erősen bővült a minőségi választék. Ezzel azonban nélkülözhetetlenné vált a metallurgiai folyamatok részleteinek megismerése, és a kész termékek tulajdonságainak egyértelmű előírása, jellemzése. Vizsgálatokra volt tehát szükség, a kutatás (fejlesztés) és a gyártmányok ellenőrzése, minősítése érdekében egyaránt. A századforduló körül a nagyobb üzemekben működtek már vegyi laboratóriumok, és a szilárdsági tulajdonságokat szakítógépek segítségével számszerűen is meg lehetett határozni. Fokozatosan megjelentek az első mikroszkópok, keménységmérő berendezések, majd bevezették a hajlító-ütőpróbát. Az 1920-as években azután kialakultak a klasszikus metallográfia alapvető módszerei: a termikus analízis és a dilatométeres vizsgálatok. Jellemző azonban a viszonyokra, hogy hazánkban teljesítőképes metallográfiai laboratóriuma a harmincas években is csak a nagy kohászati üzemeknek volt. Az ötvözetek szerkezetének vizsgálatával, a gyártásmód és a tulajdonságok kapcsolatával ezenkívül legfeljebb egy-két egyetemi tanszék foglalkozott, szükségképpen nagyon szerény keretek között [1].

A tudomány pedig ezalatt rendkívül sokat fejlődött. Világszerte nagy energiával gyűjtötték a fémes anyagokra vonatkozó adatokat, tapasztalatokat. Sorra határozták meg a kétalkotós egyensúlyi diagramokat, a három- és többalkotósak egyes részleteit. A fázisviszonyoknak, az átalakulások lényegének

\* A Kohászati Akadémiai Bizottság Fémteni-Öntészeti Albizottságának 1969. december 15-i ülésén elhangzott vitaindító előadás anyaga.

\*\* DR. FUCHS ERIK, Budapest XIV, Törökőr utca 9.

tisztázásában szerephez jutott a modern fizika egyik legfontosabb módszere, a röntgendiffrakciós szerkezetvizsgálat. Az eredményeket kitűnő kézikönyvekben foglalták össze, és ezzel — az 1940-es évek táján — lezárult a leíró és rendszerező *klasszikus metallográfia* korszaka, hogy átadja a helyét a mai értelemben vett *fémten* új, elemző és oknyomozó gondolkodásmódjának.

## II.

A fémten — VERŐ akadémikus meghatározása szerint — „*az a tudomány, amely a fémeknek és ötvözeteknek a feldolgozásuk és felhasználásuk szempontjából lényeges tulajdonságait fémfizikai alapokra támaszkodva, egységes rendszerbe foglalva tárgyalja*”. A fémten tehát egyrészt a régi metallográfia és mechanikai anyagvizsgálat, másrészt a kísérleti fizika oldaláról kifejlődött fémfizika (vagy általánosabban szilárdtest-fizika) találkozásából, azok határterületeként jött létre. Legfontosabb alapja és egyben művelésének feltétele a kísérlet, a mérés — hiszen magától értetődően csak azokat a tulajdonságokat lehet fémfizikai alapokon értelmezni, rendszerezni, amelyeket előzetesen vizsgálattal meghatároztunk. *Fémteni vizsgáló módszereken így mindazokat az eljárásokat értjük, amelyek alkalmasak a fémek és ötvözetek fázisviszonyainak, átalakulásainak, mikroszkópos és szubmikroszkópos szövetszerkezetének, valamint ún. reális szerkezetének eredményes vizsgálatára.*

E meghatározásból kitűnik, hogy a fémteni vizsgálatok köre rendkívül tág. Ide tartoznak mindenekelőtt a metallográfia régi, jól bevált módszerei: a makroszkópos és fémmikroszkópos szövetvizsgálat, a termikus analízis, a dilatométeres mérés. Az évek folyamán legalább ugyanakkora lett azonban a jelentősége a fizika újabb módszereinek: például az új röntgen-, elektron- és neutrondiffrakciós vizsgálatoknak, a különböző elektronmikroszkópos eljárásoknak, a villamos ellenállás és a mágneses tulajdonságok mérésének, és nem utolsósorban a mikroszondának.

A fémteni vizsgálatoknak az utóbbi időben tapasztalható általános, széles körű elterjedése egyrészt kétségtelenül az alapanyagokat gyártó ipar rohamosan növekvő igényeinek tudható be. A híradástechnikai egykristályoknak meg kell határozni az orientációját, a bennük levő rácshibák sűrűségét. Szükség van nem táguló, vagy a méreteiket a hőmérséklettel előírt módon változtató ötvözetekre, előírt mágneses tulajdonságú anyagokra stb. A „közönséges” szerkezeti és szerszámacélok fejlesztése és gyártása sem igen oldható meg a folyáshatárra ható tényezők, vagy az átalakulási folyamatok részleteinek beható tanulmányozása nélkül. Vizsgálni kell a karbidfázisok változását az összetétel és a hőkezelés függvényében, az ötvözetekben tartós vagy ismételt igénybevétel közben végbemenő precipitációs és egyéb jelenségeket, hogy a szerszámok, a korszerű hőerőgépek, a közúti és légi járművek anyagának teljesítőképességét, megbízhatóságát szavatolni lehessen. Fémteni módszerek-

kel követhetünk olyan finom, de rendkívül fontos effektusokat, amelyek okozzák a golyócsapágy felületi kifáradását, acélhuzalok rugalmassági és relaxációs jellemzőinek látszólag indokolatlan szórását, az acél öregedését, a fémek és ötvözetek megújulását, újrakristályosodását és így tovább.

Mindezek az igények önmagukban nem volnának elegendők a fémtani vizsgálatok említett elterjedéséhez. Ebben döntő szerepe van még az automatika és méréstechnika, főleg pedig az elektronika hallatlan fejlődésének. Ma már a nem villamos mennyiségeket is lehetőleg villamosan mérjük. Az optikai regisztrálást a nyúlásmérésben és a dilatometerekben is jórészt kiszorították a villamos mérő és író műszerek. A régi ívlámpás fémmikroszkópok mai utódai változatos fényforrásokkal, mikrokeménységmérővel, interferencia- és fáziskontrasztos kiegészítésekkel felszerelt, könnyen kezelhető, sokoldalú műszerekké váltak. Az elemi részecskék (köztük az elektron) hullámtermészetét de BROGLIE 1926-ban ismerte fel, és e felfedezés nyomán az 1930-as években dolgozták ki az elektronmikroszkóp alapjait. Még tíz évvel ezelőtt is órák fáradságos munkájába kerülhetett azonban, amíg egy rutin-elektronmikroszkópot sikerült a felvételezéshez kifogástalanul beállítani, centrálni. A legújabb berendezések hasonlíthatatlanul jobb villamos és mechanikai stabilitása, célszerűbb szerkesztése révén a központosítás tulajdonképpen megszűnt probléma lenni. Az új röntgendiffraktométerek kivételesen jó minősége, analóg és digitális regisztrálása, a nagy sugárintenzitás és a kristálymonokromátorok alkalmazása rendkívüli módon megnövelte a mérések érzékenységét és pontosságát. A felvételek ún. vonalprofil-analízise és elektronikus számítógéppel végrehajtott értékelése viszonylag kis személyi munka ráfordításával, gyorsan tájékoztat az anyag reális szerkezetéről. Különleges kamrák és próbatartók lehetővé teszik a közönségesnél kisebb és nagyobb hőmérsékletű, vagy akár olvadt állapotú fémek szerkezetének vizsgálatát; és mindezek csak önkényesen kiválasztott példák a szerteágazó mérések közül.

Az új, nagy lehetőségek egyben a mai fémtani kutatás jellegzetes problémájává is váltak: *egy-egy feladat megoldásához sokféle vizsgálatra van egyidejűleg szükség, e vizsgálatok pedig többnyire csak különleges, rendkívül költséges és emellett az „erkölcsi kopás” révén gyorsan korszerűtlenné váló célberendezésekkel valósíthatók meg.* A nagyberendezéseket, röntgendiffrakciós és elektronoptikai készülékeket, mágneses és villamos műszereket, mikroszondát, az üzemek és intézetek nem tudják mind külön-külön megvenni; igaz, a kis, heterogén profilú kutatóhelyek kihasználni sem tudnák minden ilyen berendezés teljes kapacitását. A folyamatban levő kutatások méréstechnikai, vizsgálótechnikai igényeinek maximális szintű biztosítása azonban nyilvánvalóan nálunk is országos érdek [2]. Nem kétséges, hogy a nagyberendezésekkel kapcsolatos laboratóriumok létesítésének, szakszerű üzemeltetésének és gazdaságos kihasználásának bonyolult problémáit körültekintő szervezéssel jól meg lehet oldani (pl. [3]). Egy-két ezzel kapcsolatos gondolatra később még visszatérünk.

## III.

A felszabadulás utáni évek elsődleges feladata az ország újjáépítése, az ipar termelésének megindítása volt. A vaskohászat ezt követő, jelentős fejlesztése tette lehetővé korszerű anyagvizsgáló és metallográfiai laboratóriumok létesítését. A kezdeti, nagyvonalú beruházás eredményeképpen számos intézmény, köztük a *Vasipari Kutató Intézet* is olyan vizsgáló felszerelést kapott, amely megfelelően szolgálta az akkori ipari kutatásokat. A létesítést követő évtizedben azonban még a folyamatos működtetéshez nélkülözhetetlen anyag- és alkatrészellátás is akadályokba ütközött. A vizsgáló eszközök korszerűsítésére, új berendezések beszerzésére sokáig nem volt mód. Jórészt ezekre a korántsem elszigetelt gondokra való tekintettel dolgoztatta ki a *Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya* 1963-ban egy *Fémteni és Elméleti Metallurgiai Osztály* koncepcióját [4], amely a tervezett *Központi Műszaki Kutató Intézet* keretében működött volna. Ennek a legalább 80 főnyi osztálynak a saját kutatómunkáján kívül az is feladata lett volna, hogy igényes vizsgálatokkal segítse a még kellően fel nem szerelt ipari kutatóhelyek munkáját. Az átmenet éveiben így a kohászat is hozzájuthatott volna egy sor olyan fontos laboratórium szolgáltatásaihoz, amelyeknek a munkába állítására addig nem volt ésszerű lehetősége.

Az új akadémiai intézet azonban nem jött létre. Iparágunk ezzelkényszerhelyzetbe került: nyilvánvalóvá lett, hogy ha nem akar hosszú időre teljesen lemondani a korszerű fémteni vizsgálatokról — a kutatás hatékonyságának egyik legelemibb feltételéről — akkor késlekedés nélkül saját magának kell beszereznie és működtetnie mindazokat az eszközöket, amelyek a munkaterületén nélkülözhetetlenek. Ennek a felismerésnek az alapján kezdte meg a *Vasipari Kutató Intézet* a saját *Fémteni Osztályának* kifejlesztését, és ezidőtájt szereztek be kohászati üzemünk is néhány új fémteni nagyberendezést: elektronmikroszkópot, röntgendiffrakciós készüléket stb. Az üzembehelyezéskor és főleg a hasznosítás gazdaságossága körül néhol jelentkező aggályoskodás, érdektelenség legfeljebb csak sajnálatos körülmények voltak, amelyek szorosan kapcsolódtak a vaskohászat elmaradottságának az utóbbi időben sokat elemzett egyéb problémáihoz (pl. [5—10]).

Az 1960-as évek elején beszerzett eszközök kétségtelenül átsegítették a hazai fémteni vizsgálatokat a holtpontra; sokféle vizsgálatot el lehetett velük végezni. Mégsem állíthatjuk, hogy a korszerű felszereléssel végzett hatékony fémteni kutatás általánossá vált volna; vagy hogy az alkalmazott kutatás, az ipari-kohászati fejlesztés nagymértékben kihasználta volna az ezidőtájt már meglevő új fémteni lehetőségeket. Az *Akadémia*, az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság*, valamint egyes társadalmi szervek bizottságai megkísérelték a tényleges helyzet felmérését, és a felmérés alapján a kivezető útnak, a fontosabb teendőknél a kijelölését. A problémák azonban összetettebbnek bizonyultak, mint ahogyan az első pillanatra látszott.



Az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság Ritkafém Témabizottságának 5. sz. Albizottságát például azért hozták létre, hogy állapítsa meg a legtágabb értelemben vett ritkafémek (tisztá, drága vagy különleges anyagok) szempontjából jelentős vizsgálati igényeket és az akkori hazai lehetőségeket; értékelje a hazai helyzetképet és vesse egybe a világszínvonallal; valamint hogy dolgozzon ki javaslatot a szóbanforgó anyagok vizsgálata és minősítése szempontjából legfontosabb, hiányzó vizsgáló módszerek bevezetésére, és a bevezetés módozataira.

Az eredményekről az Albizottság nevében 1966. január 12-én a szerző rövid beszámolót készített. Ebből a beszámolóból többek között kitűnik, hogy az Albizottság a vizsgálati igényeket és a pillanatnyi lehetőségeket megkísérelte *kérdőívek* segítségével megállapítani. A rendkívül nagy munkabefektetés ellenére sem sikerült azonban így megbízható képet kapni sem az egyes kutatóhelyek teljes műszerállományáról, sem a tényleges, rangsorolható igényekről. Az ország műszerállományáról legjobban még az *Akadémia Műszerügyi Szolgálatának* kartotékja tájékoztat — bár a műszerek beszerzése és a kartotékba való bejegyzése között kb. 2 év telik el, és egyes intézmények mint pl. a *Központi Fizikai Kutató Intézet* nem is jelentik be műszerállományukat. A kihasználtság mértékére egyáltalán nem sikerült jellemző adatokat gyűjteni, mert kézenfekvő okoknál fogva minden kutatóhely teljesen, vagy csaknem teljesen kihasználnak mondotta a berendezéseit. Az Albizottság feltételezte, hogy a nagyberendezéseken jóval több vizsgálatot lehetne végezni minden további beruházás nélkül is; legfeljebb a kezelőszemélyzet létszámának növelésére, vagy esetleg több műszakos munka bevezetésére lett volna szükség. A berendezések jobb kihasználása valóban nagyon indokolt volna; különösen ha figyelembe vesszük a gyors elévüléseket, amely csaknem független attól, hogy használták-e a berendezéseket a korszerűségük idején vagy sem.

A felmérés minden hiányossága ellenére rámutatott arra is, hogy a fémtani nagyberendezések beszerzésében túlságosan nagy spontánitás érvényesül. Az természetes, hogy a több évtizedes elmaradást nem lehet máról holnapra behozni és valamennyi kutatóhelyet egy-két év alatt minden szükséges műszerrel ellátni. Mivel azonban a laboratóriumokat egymástól függetlenül fejlesztik, egyes közérdekű berendezéseket az arányosnál jóval nagyobb példányszámban, másokat pedig egyáltalán nem szerez be az ország.

Ilyen helyzet alakult ki a felmérés szerint az *elektronmikroszkópokkal*: átvilágító rendszerű, teljesítőképese elektronmikroszkóp jónéhány volt már a különböző fémtani laboratóriumokban, viszont a fémese anyagok vizsgálata szempontjából legalább ennyire fontos emissziós mikroszkópból csak egyetlen egy került 1966-ig az országba. Igaz, az meg éppen nem fémtani laboratóriumba, így azután nagyobbrészt ezt is átvilágító mikroszkópként működtették. Hasonlóan hiányzott a mikroszonda is; országosan, sokfelé lett volna szükség rá. Legfeljebb annyiba került volna, mint két-három elektronmikroszkóp;

vagy más, hasonló jellegű, több példányban beszerzett műszer -- mégsem állítottak munkába egyetlen mikroszondát sem.

Összegezve, az Albizottság úgy értékelte az ország akkori fémtani műszerezettségét, hogy általában két évtizedes az elmaradás a fejlett ipari országok felszereltségéhez képest. A beszámoló végül is arra a következtetésre jutott, hogy a nagyberendezések beszerzését, működtetését és gazdaságos kihasználását megfelelő kutatósszervezéssel kellene az addiginál lényegesen célszerűbbé tenni. A többféle, ma részben túlhaladottnak tekinthető javaslat közül az egyik talán ma is időszerű:

*„Arra kellene törekedni, hogy az egyes intézmények a nagyberendezéseiket olyan laboratóriumok keretében működtessék, amelyek személyzete csak a berendezések működtetésével, üzembentartásával és fejlesztésével foglalkozik, a tulajdonképpeni kutatómunkában kizárólag műszeres szolgáltató tevékenységgel vesz részt. Az ily módon megszervezett szolgáltató munkával feltétlenül sokkal jobban ki lehet használni a műszerek teljesítőképességét, mint azzal a ma még általános gyakorlattal, hogy különleges képzettségű, és kifejezetten szakirányú kutatóssal megbízott kutatók működtetik munkaidejük tört részében a nagy értékű, nagy produktivitású berendezéseket. Aligha képzelhető ugyanis el, hogy egy olyan kutató, aki például alumíniumötvözetek nemesedésével, e nemesedés fémtani folyamataival foglalkozik, és munkájában röntgendiffrakciós vizsgálatokat is felhasznál, egyúttal megfelelő igényességgel fogja szolgáltatni tudni a germánium egykristályok szerkezetvizsgálatával vagy folyadékok tulajdonságainak, szerkezetének vizsgálatával kapcsolatos eredményeket is. Ellenkezőleg, még a saját kísérletei elvégzésére sem marad általában elég ideje; holott a szóbanforgó kutató kezére bízott berendezés esetleg igen széles körű vizsgálatok elvégzésére is elegendő lenne. Megítélésünk szerint a műszereket üzembentartó szolgáltatónak és a szakirányú kutatónak különválasztásával, pusztán jobb munkaszervezéssel, a meglevő műszerek ésszerűbb kihasználása révén igen sok olyan vizsgálati igényt is ki lehetne elégíteni, amelyben egyébként elkerülhetetlen lenne további, új berendezések beszerzése.”*

#### IV.

Az utóbbi négy-öt év folyamán öröndetes változásoknak lehettünk szemtanúi. Országszerte gyorsított ütemben fejlesztettek egyes laboratóriumokat; jelentős beruházásokra is sor került. Igaz, az új gazdaságirányítási mechanizmus bevezetése ismét lassította a főként hosszú távon kifizetődő műszerek beszerzését. Ennek ellenére bizonyosan kedvezőbb a fémtani vizsgálatok helyzete ma, mint régebben volt: általánosságban már korántsem tekinthető az elmaradottságunk két évtizedesnek.

A részletesebb értékelés szempontjából nagyon kényelmes lenne, ha ismernénk a ma szükséges vizsgálóeszközök pontos jegyzékét. Az ilyen jegyzék

összeállítása azonban komoly nehézségekbe ütközik: Először is, nyilvánvalóan helytelen volna arra törekedni, hogy minden laboratóriumban vagy akár csak az egész országban is meglegyen minden vizsgálóeszköz, amely elvben felhasználható valamilyen elvben felmerülhető vizsgálat elvégzésére. Ezt a luxust senki sem engedheti meg magának a világon; különösen a műszerek említett gyors elévülését is tekintetbe véve. Az olyan alapvető fontosságú műszerek, nagyberendezések azonban vitathatatlanul szükségesek, mint amilyenek például:

a) *Mechanikai* anyagvizsgáló berendezések (szakító- és fásasztógépek, hajlító-ütőművek stb.);

b) *metallográfiai* eszközök (csiszolatkészítés, fémmikroszkópok változatos kiegészítésekkel);

c) *elektronoptikai* berendezések (átvilágító, emissziós és más rendszerű elektronmikroszkópok, elektrondiffrakciós műszerek stb.);

d) *röntgendiffrakciós* készülékek (egy kristályok vizsgálatához; Bragg—Brentano-diffraktométerek, különböző precíziós kamrák; kis és nagy hőmérsékletű kiegészítések stb.);

e) *mikroszonda, ionszonda*;

f) *különféle fizikai mérőeszközök* (dilatométerek, mágneses mérőeszközök, valamint a mai méréstechnikai színvonalnak megfelelő villamos mérő- és regisztráló műszerek).

E korántsem teljes, de mégis jellemző felsorolást egybevehetjük a hazai fémtani laboratóriumok felszerelésével. Hamarosan kiderül, hogy a legfontosabb eszközök általában rendelkezésre állnak. Más kérdés azonban, hogy e berendezések teljes kapacitását milyen mértékben használják ki az üzembentartók, illetve hogy a berendezések milyen mértékben állhatnak az üzembentartó intézményen kívüli kutatóhelyek rendelkezésére. A tájékozódás meglehetősen egyértelműen arra az eredményre vezetett, hogy a nagyberendezések legtöbbször nincsenek kihasználva, és hogy az intézmények közötti együttműködés — a közvetlen személyi kapcsolatokat természetesen kivéve — gyakran nehézkes.

Az okok elemzése messze vezet és meghaladja ennek a beszámolónak a kereteit. Néhány gondolat, megjegyzés azonban ide kívánczik:

## 1.

*A vizsgálatokhoz nemcsak megfelelő vizsgáló eszközre, hanem megfelelően kiépített laboratóriumra, s megfelelően képzett, gyakorlott kezelőszemélyzetre is szükség van.* Hiába áll tehát mégoly korszerű műszer ládába csomagolva valahol, ha nincs helyiség, ahol üzembe lehetne helyezni. Az sem segíti a problémák megoldását, ha egy-két évig az elemi alapismereteket tanulgatja egy új, termelékeny nagyberendezésen az időben ki nem képzett, talán nem is optimalisan választott személyzet.

## 2.

*A legtöbb nagyberendezés egy sor segédeszköz nélkül használhatatlan; ez utóbbiak beszerzéséről, valamint a tartalékalkatrészekről tehát az első beruházáskor, időben kell gondoskodni. Ismeretes, hogy kezdetben számos elektron-mikroszkópot szereztek be vákuumgőzölő nélkül, röntgenberendezéseket röntgencső vagy kamrák nélkül stb.*

## 3.

A nagyberendezések gazdaságos kihasználásának valóban kézenfekvő módja az, ha *a működtető és karbantartó, fejlesztő személyzet* — esetleg váltott műszakban — *csakis méréssel, metodikai fejlesztéssel foglalkozik.* A tulajdonképpeni kutatást valóban hasznos volna a mérőeszközök kezelésétől legalább bizonyos mértékig különválasztani. Az ilyen munkaszervezés számos kutatóhelyen jól bevált. Éppen a kohászati kutatásokban jelentkezik azonban egy roppant kényes, sajátos probléma: *az ipari kutatók jelentős része nem tud a fémtani vizsgálatok eredményével mit kezdeni.* Ehhez az a téves nézet is hozzájárul, hogy minden fémtani kutatást olyan alapkutatásnak minősítenek, amelynek gyakorlati és gazdasági haszna csak hosszú idő múlva várható. A valóságban a fémtani vizsgálatok a technológiai kutatást elősegítő, hasznos és az eredményt tudományosan alátámasztó eszközzé fejlődtek, csak megfelelő hozzáértéssel kell alkalmazni őket. Gyakran hangzik el nyomós érvként, hogy a megbízók, az üzemek nem igényelnek, csak közvetlenül bevezethető, rövidtávú eredményeket; ez az érv különösen az új gazdaságirányítási mechanizmus bevezetése óta túlságosan is igaz. Az is tény viszont, hogy *a megbízók egyáltalán nem ragaszkodnak ahhoz, hogy a közvetlenül bevezethető eredményeket éppen elavult módszerekkel próbálják elérni számukra.*

## 4.

A kohászati kutatások, ezen belül pedig főként az alkalmazott, technológiai vonatkozású kutatások elméleti-fémtani alapokra való átállítása — mint láttuk — belső ellentmondásokkal terhes. Kedvezőtlen ebben az a körülmény is, hogy a költséges, teljesítőképes *vizsgálóberendezéseket vásárló és vásárolni tudó szervek, valamint a fémtani kutatásban, vizsgálótechnikában jártas kutatóhelyek gyakran nagyon távol esnek egymástól.* Így fordulhat elő, hogy tudunk az üzem bentartó által feleslegesnek, használhatatlannak mondott, korszerű és valóban kihasználatlan műszerekről; amivel szemben például a *Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán az Anyagtechnológiai Tanszéknek,* és ezzel az *Akadémia* jelentős szellemi kapacitást képviselő *Anyagszerkezet-tani és Anyagvizsgáló Munkaközösségének* szinte egyáltalán nincsen használható fémtani vizsgálóeszköze.

## V.

A Fémteni-Öntészeti Albizottság szűkebb munkaterületét jelentő kutatóhelyek konkrét felszerelését vizsgálva, igen nagy aránytalanságokat találunk. A Csepeli Fémű laboratóriumai például korszerűen vannak felszerelve; a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán a Villamosipari Anyagtechnológiai Tanszék viszont — mint említettük — csaknem sehogyan. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Fémteni, illetve Öntészeti tanszékein ma már működnek ugyan értékes vizsgáló eszközök, de ezeket jórészt üzemek bocsátották önzetlen támogatásként a velük kapcsolatban álló tanszékek rendelkezésére. A Vasipari Kutató Intézet a legutóbbi években végre teljesítőképes fémteni laboratóriumokat hozhatott létre stb.

Albizottságunk munkamódszeréből következik, hogy az érdekelt kutatóhelyek munkáját, lehetőségeit és eredményeit közvetlen látogatások keretében törekszik megismerni. A beszámolóra ezúttal a Vasipari Kutató Intézetben került sor; indokolt volt tehát éppen ennek az intézménynek a körülményeit részletesebben megvizsgálni. E tanulmányban azonban csak vázlatos áttekintésre szorítkozhatunk.

Az Intézet fémteni laboratóriumainak kialakítását 1965 körül kezdtük meg a már idézett tanulmány [4] programjának megfelelően. A vizsgáló berendezések kiválasztásakor — a különböző eredetű anyagi erőforrások nagyságán kívül — mindvégig szem előtt tartottuk, hogy csakis teljesen korszerű és lehetőleg sokoldalúan, többcélúan használható eszközök kerüljenek a laboratóriumokba. Az azóta eltelt kereken négy esztendő alatt elértük, hogy a pillanatnyilag legszükségesebb fémteni nagyberendezések (a mikroszonda kivételével) rendelkezésre állnak és üzemszerűen működnek. A meglevő felszerelés a következők szerint csoportosítható:

a) *Elektronoptikai laboratórium.* Egy KEM 1 típusú, keletnémet rutin-elektronmikroszkópja, és egy Elektronenoptische Anlage EF 4 . . . 6 elnevezésű, a VEB Carl Zeiss Jena (Német Demokratikus Köztársaság) által gyártott többcélú elektronoptikai rendszere van, a szükséges kiegészítésekkel.

b) *Röntgendiffrakciós laboratórium.* Itt egy maximális teljesítőképeségű ISO DEBYEFLEX IIIA típusú, nyugatnémet röntgendiffrakciós berendezés működik változatos felszereléssel: két rendkívül jó, analóg és digitális regisztrálásra alkalmas röntgendiffraktométerrel, nagy hőmérsékletű kamrával, kristálymonokromátorokkal, Guinier-kamrával, különleges röntgenkép-erősítővel.

c) *Fázisváltozásokat vizsgáló fizikai laboratórium.* Kétféle, optikai regisztrálású gyári dilatométerrel, több saját fejlesztményű, villamos regisztrálású különleges dilatométerrendszerrel és egy sor alaplmszerfel van felszerelve. A laboratórium a fázisátalakulásoknak mágneses mérését is változatos módon tudja teljesíteni.

A negyedik létfontosságú laboratórium, a mikroszondás laboratórium még mindig csak a tervezés állapotában van. Az intézet azonban így is kohász-



tunknak egyik legjobb, legharmonikusabban felszerelt fémtani kutatóbázisa. A mai jelentős vizsgálótechnikai felkészültség szorosan illeszkedik a kohászat fejlesztésének soron következő feladataihoz. Az elvégezhető vizsgálatok nagyon sokrétűek, és általában kielégítik a pillanatnyi követelményeket. Az intézet sok más laboratóriummal tart fenn szoros együttműködést; egyedül a mikroszonda hiánya korlátozza alapvetően az egyébként nemzetközi szintű teljesítőképességet.

A laboratóriumok *elhelyezése* elvben megfelelő. A gyakorlatban azonban nyomasztó, hogy a fázisváltozásokat vizsgáló eszközök elhelyezésére tervezett csarnok építkezései elhúzódtak; így az ideiglenesen felállított, illetve a röntgendiffrakciós laboratóriumban összezsúfolt műszerek némelyike csak nagyon nehezen használható.

A *személyi ellátottságot* érdemes közelebbről szemügyre venni. A fémtani laboratóriumokban *közvetlenül* foglalkoztatott főállásúak besorolás szerinti megoszlása ugyanis 1969. december 15-én az I. táblázat szerint alakult.

#### I. táblázat

*A Vasipari Kutató Intézet fémtani laboratóriumainak személyi ellátottsága*

| Kulcsszám a<br>126/1967./23/ Mű M<br>sz. rendelet szerint | Megnevezés                                | Létszám,<br>fő |
|---|---|----------------|
| 921   | Tudományos-műszaki-gazdasági<br>tanácsadó | 1              |
| 924   | Tudományos munkatárs                      | 2              |
| 925   | Tudományos segédmunkatárs                 | 2              |
| 929   | Műszaki ügyintéző II                      | 1              |
| 930   | Műszaki ügyintéző III                     | 1              |
| 931   | Műszaki ügyintéző IV                      | 1              |
| 955   | Laboráns II                               | 1              |
|   | Létszám összesen                          | 9 fő           |

Ez a létszám a felszereléshez képest roppant kevés, mint ahogyan az elvégzett mérések száma is kicsiny a berendezések tényleges termelékenységéhez képest. Érdemleges létszámbővítésre a gyakorlatban még sincsen mód. Az intézet ugyanis vállalatként működik, és az új gazdaságirányítási mechanizmus szellemében nyereségesen kell gazdálkodnia. Minthogy pedig az intézet ipari-technológiai kutatói egyenlőre csak nagyon kevésbé igénylik a fémtani vizsgáló eszközök szolgáltatásait, a laboratóriumok gazdaságosságát a bennük dolgozók saját ipari kutatásainak kell biztosítaniok. Ebben olyan nagy egyéni teljesítményekre van szükség, amelyeket általában nem lehet bár-

mely munkaerőtől elvárni. Újabb kutatókat, illetve további segédszemélyzetet így valóban csak olyan mértékben lehet munkába állítani, amilyen mértékben a laboratóriumokkal szemben támasztott — főként mennyiségi — igények növekednek. Figyelemre méltó körülmény, hogy jelenleg központi dotációt (célprogram-keretet) csak az intézet technológiai kutatásai kapnak, a fémtaniak nem.

A laboratóriumok munkatársainak produktivitását leginkább az a kb. 50 publikáció jellemzi, amelyet az utóbbi években jelentettek meg különböző szovjet, német, angol és hazai folyóiratokban. Több műszaki doktori illetve kandidátusi értekezés is készült, továbbá az ezen idő alatt konferenciákon, ankétokon és egyéb rendezvényeken tartott legalább ötven szakmai előadás önmagában is jelentős eredmény.

Általánosságban megállapíthatjuk, hogy a fémtani laboratóriumok fokozatosan kapcsolódtak be az alkalmazott technológiai jellegű kutatásokba, valamint közvetlenül az ipari fejlesztőmunkába. A feladatoknak csak kisebb része volt kifejezetten metodikai jellegű; nagyobbrészt ötvözetek, acélok tulajdonságai és átalakulási folyamatai közötti kapcsolatok komplex vizsgálatáról volt szó. Foglalkoztunk egyes acélfajták fázisváltozásaival, többek között a nemzetközi vasúti szövetség egy különleges MnSiCr rugóacéljával, és a minősítés gyakorlati kérdéseivel. Röntgendiffrakciósan vizsgáltuk edzett acélok maradék austenittartalmát, dinamó- és mélyhúzólemezek, valamint patentírozott, húzott acélhuzalok textúráját. Elektronmikroszkóposan és elektrondiffrakciósan kutattuk a golyóscsapágyacél felületi kifáradását. Új eredményeink vannak a fémek újrakristályosodásával, ötvözetek szegregációs nemesítésével, az acél folyáshatárára ható tényezők elméleti vizsgálatával kapcsolatban.

Jelenleg — az elkerülhetetlen, folyamatos metodikai és apparatív fejlesztésen, illetve mérési eredmények szolgáltatásán kívül — főleg az acélok átalakulásaival, reális szerkezetével, s az öntött ötvözetekben végbemenő diffúziós folyamatok kinetikájával foglalkozunk, kutatási témáink célkitűzéseinek megfelelően. Az átalakulások vizsgálata közvetlenül összefügg a hazai szabványos acélfajták tulajdonságainak meghatározására indított ún. acél-atlasz-koncepciótémával; fázisváltozásokat vizsgáló laboratóriumunkban, főként a villamosan regisztráló dilatométerrendszer félautomatikus egységével határozzuk meg az izotermás és folyamatos hűtésre vonatkozó átalakulási diagramokat (C-görbéket). A dúsulással dermedt, valamint a szegregációs nemesítendő öntött ötvözetek homogenizálódásának folyamatait új meggon-dolások alapján sikerült leírni, és ezzel megtaláltuk az eddig empirikus feloldódási és homogenizálódási diagramok görbéinek egy matematikai leírását. Hasonlóan új eredményeket értünk el a fehéren dermedt öntöttvasak grafitosodásának folyamatára vonatkozóan, amely lehetővé teszi a nyers ötvények grafitosodási hajlamának egyértelmű jellemzését, mégpedig rövidített minő-

sító vizsgálatok alapján. Idevágó eredményeinket az üzemi hőkezelések optimalizálásában, egy különleges számítógép építésében, végső soron pedig a temperöntvények gyártásának gazdaságosabbá tételében hasznosítjuk.

A távlati tervek és a természetes műszaki haladás irányát szem előtt tartva előre látható, hogy a következő években — az ilyen szempontból előbbre járó iparágakhoz, például a híradástechnikai anyagokat előállító iparhoz hasonlóan — a kohászat is egyre nagyobb mértékben fog világos elméleti (fémteni, fémfizikai) alapokra támaszkodni, és rohamosan növekvő mértékben fogja a tudományosan megalapozott, összehangolt fizikai vizsgálatok eredményeit igényelni. Megfelelő felkészülés nélkül nem lehet az igényeket máról holnapra kielégíteni. A népgazdasági érdekeknek megfelelően, a külföldi tapasztalatokat is szem előtt tartva további gyorsított fejlesztésre van tehát szükség, függetlenül attól, hogy a holnap igényei hogyan tükröződnek a mindennapok szűkebb, néha nagyon is prakticista szemléletében.

A *Vasipari Kutató Intézet* fémteni laboratóriumaira háruló legközelebbi további feladatok eszerint körvonalazhatók:

A bevált módszereket minél szélesebb körben kell kihasználni mind az intézeti kutatásban, mind közvetlen szolgáltatásként az ilyen vizsgálatokra még be nem rendezkedett üzemek ipari fejlesztő munkájában;

a nagyberendezések teljesítőképességét folyamatos fejlesztéssel és újabb beszerzésekkel a jelenlegi korszerűségi szinten kell tartani;

rendkívül fontos volna egy legújabb típusú mikroszonda mielőbbi beszerzése és üzembe állítása, esetleg a kohászat egyetemleges igényeinek központi kielégítésére;

végül a sajátos körülményekre való tekintettel fokozott gondot kell fordítani az öntött ötvözetek szerkezetének és átalakulásainak fémteni kutatására.

Ehhez a meglevő vizsgáló eszközök csak részben elegendők. Feltétlenül be kellene ezért a kristályosodó illetve olvadó fémes rendszerek röntgendiffrakciós vizsgálatára is rendezkedni. Az ilyen irányú fejlesztés szükségességét évek óta szem előtt tartjuk; alapberendezéseink nehézség nélkül kiegészíthetők a beszerezni javasolt GS-diffraktométerrel.

A feladatok megoldása és a munkaerő-igény kielégítése érdekében többek között azt tervezzük, hogy az intézetbe felveendő, frissen végzett kutatójelöltek 1 ÷ 3 évi időtartamra előbb a fémteni laboratóriumokban kapnak beosztást. Itt egyrészt ténylegesen elláthatják azokat a teendőket, amelyekre megfelelően kvalifikált technikusokat nem tudunk előteremteni, másrészt éppen e tevékenységükkel párhuzamosan, szervezett kutatóképzésben is részesülnének. A legjobb fiatalok kutatói pályafutásuk ezen első szakaszában akár az egyetemi doktori értekezésüket is kidolgozhatják. A laboratóriumokban eltöltött gyakornoki, illetve segédmunkatársi évek után a kutatók nagyobb része a technológiai osztályokra kerül tovább, ahol nyilván jobban fogják

a fémtani alapokat hasznosítani tudni, mint ha a vázolt képzésben nem részesültek volna. A laboratóriumokban felszabaduló helyekre értelemszerűen az akkor belépők kerülnek.

## VI.

Az eddigiek után önként vetődik fel a kérdés: hogyan lehet a kétségtelesenül fennálló nehézségeket elhárítani, a fémtani vizsgálatokkal kapcsolatos egészséges fejlődést országosan meggyorsítani? Mélyreható változásokat természetesen csak átfogó, korántsem csak a fémtani vizsgálatok ügyére korlátozódó intézkedésektől várhatunk. Ismeretes, hogy az ilyen problémákkal, a megoldás lehetőségeivel: a *kutatásszervezés* kérdéseivel világszerte kiterjedt szakirodalom foglalkozik (vö. pl. [11]-gyel). E tanulmányban ezért csak olyan javaslatokat említünk, amelyek közelebbről kapcsolódnak az Albizottság tevékenységéhez, feladataihoz:

### 1.

Először is úgy tűnik, hogy mindenekelőtt néhány *meglévő, központi fémtani kutatóbázis maximális igényű továbbfejlesztését* kellene szorgalmazni (a vaskohászat számára a *Vasipari Kutató Intézetét*). A rendelkezésre álló anyagi erőforrások ilyen koncentrálása egyrészt azért volna hatékony, mert korszerűen kutatni csak számos nagyberendezés és más kutatóeszköz *egyidejű* alkalmazásával lehet. A szétforgácsolás önmagában is csökkenti a kutatóeszközökre fordított beruházások gazdaságosságát. Ettől függetlenül azonban a már működő laboratóriumokban rendszerint összegyűlt annyi tapasztalat, amely segíti a berendezések célszerű kiválasztását és azonnali munkába állítását.

Hangsúlyozzuk, hogy a koncentrált fejlesztés nem teszi feleslegessé a kisebb, például üzemi vizsgáló laboratóriumokat. A rendkívül drága nagyberendezésekkel (mikroszondával, teljesítőképes elektronmikroszkóppal stb.) azonban elsősorban nem ez utóbbi munkahelyeket kell felszerelni, még akkor sem, ha néha itt is áll inkább rendelkezésre az anyagi fedezet. A teljesen újonnan létesítendő kutatólaboratóriumok jól ismert sajátos veszélye, hogy a labortervezést, a beszerzést és a munkábaállítást esetleg laikusok vagy diletánsok végzik ugyancsak ismert eredménnyel.

### 2.

Az elsődlegesen iparfejlesztést szolgáló központi kutatólaboratóriumokon kívül, főként a *felsőfokú oktatási intézmények megfelelő tanszékeit, intézeteit kellene felszerelni*. A mégoly tökéletesen berendezett ipari kutatóhelyek teljesítő-



képessége is korlátozott ugyanis, ha az oktatás, a szakemberképzés nem tud lépést tartani korunk követelményeivel. Az oktatási intézményeket inkább rutin-berendezésekkel, többcélú eszközökkel, az alapok tanítására alkalmas korszerű laboratóriumokkal volna célszerű ellátni.

## 3.

A kutatás hatékonyságához nélkülözhetetlen, hogy a szükséges személyi, apparatív és elhelyezési feltételek egyidejűleg, egy helyen álljanak rendelkezésre. Figyelembe véve adottságainkat, *a következő időszaknak az volna az egyik legfontosabb feladata, hogy elősegítse az egyelőre egyáltalán nem szükségképpen együtt, de meglevő személyi, apparatív és elhelyezési lehetőségek összehangolását, együttes produktivitását.* Nyilvánvaló, hogy ehhez főként szervezési, ösztönző lépésekre és nem elsősorban pénzre, devizára van szükség. Különösen sajnálatos ezért, hogy a fennálló rendelkezések és a kialakult tényleges helyzet egyáltalán nem feltétlenül hatnak e megoldás irányában. Igaz, a Magyar Szocialista Munkáspárt Központi Bizottságának tudománypolitikai irányelvei már ilyen szellemben intézkednek [12].

Főként azt kellene valahogyan megoldani, hogy a kisebb vagy kellően fel nem szerelt kutatóhelyek ténylegesen is igénybevehessék a jobb helyzetben levő laboratóriumok műszereit. Ennek elvi akadálya nincs, gyakorlati azonban annál több: a nagyberendezések működtetése és a kutatás ugyanis — mint kifejtettük — a helyi adottságok miatt többnyire nincs különválasztva. A műszerek így nélkülözhetetlen munkát végeznek ugyan, de csak a munkaidő egy részében vannak üzemben. Az állásidőket a laboratórium amúgy is túlterhelt munkatársai nem tudják hasznosítani, még ha volna is erre igény. A helyi körülményeket kellően nem ismerő, szervezetileg más intézményhez tartozó külső munkaerőket kockázatos volna a kezelők akarata ellenére az értékes eszközökre, a laboratóriumba szabadítani. Ha pedig egy-egy rendeltést valamilyen formában a laboratórium mégis elfogad, akkor a műszerek kevés vizsgálatra elosztott nagy költségei ezeket a vizsgálatokat indokolatlanul drágává teszik, ami persze fékezi a további rendeléseket. A kevés rendelés miatt nem lehet a szolgáltatást és kutatást létszámnövelés révén szétválasztani. Ezzel a kör bezárul: a gyakorlatban alig lehet, és csak nagyon drágán a meglevő nagyberendezések szolgáltatásához jutni. A berendezések továbbra is kihasználatlanok maradnak, és egyben széles körűen jelentkezik a követelés, hogy a többi kutatóhely is beszerezzen egy-egy (ugyancsak kihasználatlanul maradó) azonos fajtájú készüléket.

Tény például, hogy az ország egyetlen, a közelmúltban beszerzett mikrosondáját egy műszakban, tehát elvben csak napi 6 órán át működtetik.



## 4.

Az előzmények nélkül létrehozandó laboratóriumok tervezését, a beruházások realizálásának irányítását csak komoly tapasztalatokkal rendelkező kutatókra volna szabad bízni. Az ilyen laboratóriumok vezető személyzetét is vagy tapasztalt kutatókból kellene összeválogatni vagy ezt a személyzetet több évre jól működő laboratóriumokba delegálva, előbb alapos gyakorlati képzésben részesíteni. Az anélkül törvényszerűen jelentkező improduktivitás messze vezet a népgazdaság érdekeitől. A probléma gyökerei itt is lényegében ugyanazok, mint a fizikusok ipari elhelyezkedésének súlyos ellentmondásai, amelyeket viszont SZALAY elemzett a közelmúltban a *Fizikai Szemle* hasábjain [13].

## 5.

Az eddiginél jobban lehetővé kellene tenni a fémtani vizsgálatokat az olyan szakemberek számára, akik hivatásszerűen nem vagy csak rossz feltételek között (egyéni ambícióból) foglalkoznak tudományos munkával. Indokolt esetben módot lehetne adni arra is, hogy részletes programot és kezdeti eredményeket tartalmazó kérvény alapján a kérvényező az Akadémiától, vagy az Akadémián keresztül az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottságtól költségkeretet kapjon valamely jól körülhatárolt feladat vizsgálatainak akár akadémiai, akár más kutatóhelyen való elvégeztetéséhez. Az eredményekről a kedvezményezettnek természetesen be kellene számolnia. Az erre érdemes munkákat akár közleményként, akár egyetemi doktori vagy kandidátusi értekezésként is el lehetne azután fogadni. (Kiemelkedő tanulmányokat ettől függetlenül szélesebb körben kellene jutalmazni.)

Egy másik, világszerte bevált módszer alkalmazása volna, ha az Akadémia — esetleg ipari tárcákkal közösen — pályázatokat hirdetne fémtani tárgyú, jelentősebb dolgozatok készítésére. Szigorú és pártatlan bírálatok lehetővé tennék olyan tehetségek kibontakozását, tudományos érvényesülését, akik esetleg éppen munkahelyi körülmények (felettesek ellenkezése, féltékenység stb.) vagy a publikálás körül gyakori tehetetlenkedés miatt egyébként elkallódnának. A feltételeket úgy kellene megszabni, hogy nagyon különböző területen dolgozóknak azonos esélyük legyen, és hogy lehetőleg fiatalok pályázzanak. Ki lehetne kötni azt is, hogy a pályázatok közvetlenül kapcsolódjanak népgazdaságilag fontos alkalmazásokhoz. A társadalom érdekeit nem szolgáló „hobby-kutatásoknak” azonban közismerten nem a műszaki tudományok a melegágyai.

## IRODALOM

1. VERŐ J.: Az anyagvizsgálat szerepe a kohászat fejlődésében, *Bányászati és Kohászati Lapok — Kohászat* **102** (1969), 243—247.
2. AJTAI M.: Felszólalás az országgyűlés tavaszi ülészakán; Budapest 1969.
3. SZÁNTÓ I.—FUCHS E.: Heterogén feladatkörű természettudományos és műszaki kutató-intézetek korszerű munkaszervezése. *Magyar Tudomány* (1964), 699—704.
4. FUCHS E.: Javaslat a fémten és elméleti metallurgiai osztály munkaterületére, személyi állományára, felszerelés- és helyiséigényére. Tanulmány, készült a Magyar Tudományos Akadémia által létesítendő Központi Műszaki Kutató Intézet tervezéséhez; Budapest 1963.
5. ÁRKOS F. és munkatársai: A vaskohászat komplex fejlesztésének irányelvei. OMFB-tanulmány, Budapest 1966.
6. KOC SIS J.: A vaskohászati iparág feladatai a III. ötéves tervben. *Kohászati Lapok* **99** (1966), 99—103.
7. DÉVÉNYI Gy. és munkatársai: A Vaskohászat fejlődése és helyzete 1950—1967. KGM-tanulmány, Budapest 1968.
8. KISMARTY L.: Vaskohóiparunk szerepe és jövője népgazdaságunkban. *Bányászati és Kohászati Lapok — Kohászat* **101** (1968), 105—110; 153—158.
9. MÁNDOKI A.: Vaskohászatunk hosszútávú fejlesztése. *Bányászati és Kohászati Lapok — Kohászat* **101** (1968), 462—465.
10. KORÁN I.: Vaskohászatunk távlatainak műszaki-gazdasági elemzése (az 5—2—226/68. sz. kutatási téma tanulmányként kiadott zárójelentése). Vasipari Kutató Intézet, Budapest 1968.
11. A tudományos kutatás tervezésének, igazgatásának és szervezésének nemzetközi irodalma. *Tudományos Tájékoztató* (a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárának időszaki kiadványa).
12. Az MSZMP Központi Bizottságának tudománypolitikai irányelvei. Kossuth Könyvkiadó, Budapest 1969.
13. SZALAY S.: A fizikusok szerepe az ipar fejlődésében. *Fizikai Szemle* **19** (1969), 193—198.

**Gegenwärtige Lage der metallkundlichen Untersuchungen.** Die Entwicklungsgeschichte der metallkundlichen Prüfverfahren. Einheimische Verhältnisse; Ausrüstung des ungarischen Eisenforschungsinstitutes. Einige Vorschläge zur besseren Ausnützung des vorhandenen untersuchungstechnischen Potentials. Gesichtspunkte bei der Anschaffung und dem Einsatz von Großgeräten.

**The Present Situation of Metallurgical Investigations.** Historical review of the development of metallurgical research. Analysis of conditions in Hungary; equipment of the Iron Research Institute. Suggestions for a better utilization of existing investigation facilities. Considerations regarding the investments connected with large equipment.

# ÚJ CÉLOK, ÚJ UTAK A TUDOMÁNYOS MINŐSÍTÉSBEN

SZEBENI ÖDÖN\*

A Népköztársaság Elnöki Tanácsának 1970. évi 9. számú törvényerejű rendelete, valamint a Forradalmi Munkás-Paraszt Kormány 12/1970. (V. 5.) számú rendelete, az MSZMP KB Tudománypolitikai Irányelveinek útmutatása alapján újra szabályozta a tudományos minősítés rendjét: az eddig érvényben levő szabályokat részben módosította, részben új rendelkezésekkel egészítette ki, új célokat, új utakat is megjelölve.

Az alábbiak a tudományos minősítésre vonatkozó általános érvényű rendelkezéseket ismertetik és néhány részletkérdés tekintetében tájékoztatnak.

## I. Általános érvényű rendelkezések

A tudományos minősítés központi irányító szerve továbbra is a Tudományos Minősítő Bizottság. A tudományos minősítés kétfokozatú rendszere változatlan marad, azonban azt a jövőben határozottabban a társadalmi, gazdasági és tudományos célkitűzések szolgálatába kell állítani.

Tudományos fokozat a társadalmi haladás, a szocialista társadalom építése érdekében kifejtett rendszeres és eredményes tudományos tevékenységért adományozható. Tudományos fokozatot az a személy nyerhet el, aki a törvényerejű rendeletben foglalt követelményeknek megfelel, s korszerű, jelentős, új tudományos eredményt ért el.

Tudományos fokozattal csak társadalmi jelentőségű tudományos munka ismerhető el. Előnyben részesülnek azon témák, amelyek a társadalom időszzerű problémáinak megoldására irányulnak. A jövőben nem minden, az országban folyó kutatótevékenység honorálható tudományos fokozattal.

Tudományos fokozat nem adományozható olyan értekezés alapján, amelynek témája nem jelentős, új tudományos eredményt nem tartalmaz, vagy tételei a marxizmus—leninizmussal szemben állnak.

Alap kutatási eredményeken kívül a minősítés alapjául szolgálhat tudományos tevékenységet igénylő, a társadalom számára hasznos, új és a

\* SZEBENI ÖDÖN, Budapest XI. Fraknó utca 20b

gyakorlatban hasznosított alkotás, különösen: építmény, berendezés, termelési eszköz, termék, műszer, növény- és állatfajta, technológiai, diagnosztikai és terápiás eljárás, elvi szempontból új, jelentős törvénytervezet, illetőleg igazgatási vagy közgazdasági koncepció.

A disszertáció-centrikusságot feloldja az a rendelkezés, amely lehetővé teszi — az értekezéseken és nyomtatott műveken kívül — az említett alkotások leírásának elfogadását a minősítés alapjául.

Elsősorban a tudományok doktora fokozatra pályázók esetében értekezésként — kivételesen — a pályázó munkásságának eredményeit összefoglaló tézisek is benyújthatók. Kiemelkedő és közismert tudományos eredményeket elért pályázó esetében el lehet tekinteni a benyújtott tézisek nyilvános megvédésétől.

A minősítés alapjául szolgáló eredmények — egyéni, definiálható részteljesítmények alapján — kollektív munka keretében elért eredmények is lehetnek.

Emelkednek a tudományos fokozatra pályázókkal szemben a személyi és szakmai követelmények. A tudományok doktora fokozat elnyerésének alapja a tudományágazat továbbfejlődését eredményező olyan átfogó tudományos feladat megoldása, amely összhangban áll a társadalmi fejlődés követelményeivel. A tudományok kandidátusa fokozat elnyerésének alapja olyan tudományos téma megoldása, amely összhangban áll a társadalmi fejlődés követelményeivel.

A minősítési ügyek elbírálása során csökkenniük a formális elemek. A súlypont átkerül a lényeges kérdések kritikai megvilágítására, a tényleges bírálatra, a bírálóbizottság értékelő munkájára.

A minősítéssel foglalkozó szervezet alapjaiban változatlan marad, azonban a szakmai fórumok nagyobb szerepet kapnak. A Tudományos Minősítő Bizottság szakbizottságai jogot kapnak a kandidátusi fokozat odaítélésére. A doktori fokozatot — annak nagyobb tudománypolitikai jelentősége miatt — továbbra is a Tudományos Minősítő Bizottság plénuma ítéli oda.

Növekedik az egyetemek szerepe a tudományos fokozatokra pályázók előkészítésében. Egyes egyetemek — ha a szükséges feltételekkel rendelkeznek — megkapják a szakmai vizsgáztatás jogát, és részt vesznek a szakmai vizsgakövetelmények kidolgozásában is.

A tudományos fokozatok elnyerésére való felkészítés szervezett formája továbbra is a doktorantúra és aspirantúra.

A képzési formák terén a tematikai preferálás érvényesül. Aspiránsi pályázatot csak meghatározott témákra hirdetnek és aspiránsokat csak ezekre a témákra vesznek fel.

Aspiránsok küldhetők külföldre az itthon hiányzó és nem művelhető szakokra, vagy ismert, kiemelkedő, a hazaitól eltérő módszerekkel kutató tudományos iskolákba.

A levelező aspirantúrára való jelentkezés felső korhatára 35 évről 40 évre emelkedik. Az aspirantúrát sikeresen elvégzők értekezésüket bármikor benyújthatják, vizsgáik nem évülnek el.

A fokozattal járó illetménykiegészítés öt évenkénti felülvizsgálatára vonatkozó rendelkezés hatályát veszti, azonban meg kell vonni az illetménykiegészítést attól a kandidátusi vagy doktori fokozattal rendelkező személytől: aki neki felróhatóan nem fejt ki tudományos munkásságot, vagy akit a bíróság a közügyektől jogerősen eltiltott, aki a tudományos fokozatra méltatlan, a tudományos etika ellen vét; továbbá attól, aki a tudományos fokozattal járó kötelezettségeit felhívás ellenére nem teljesíti.

A jövőben a pályázók vizsgadíjat, valamint minősítési eljárási díjat kötelesek fizetni. A minősítési eljárásban közreműködő szakemberek pedig díjazásban részesülnek.

A munkahely szerint illetékes miniszter, illetőleg a felügyeletet gyakorló szerv vezetője biztosítja a tudományos fokozattal rendelkező személy tudományos munkájához szükséges feltételeket; ennek során — a hatályos jogszabályok keretei között — rendkívüli szabadságot engedélyezhet jelentősebb kutatómunka elvégzésére vagy tanulmány elkészítésére.

## II. Néhány részletkérdés

A kandidátusi fokozat elnyeréséhez orosz nyelvből és egy másik világnyelvből az egyetemen speciális kandidátusi nyelvvizsgát kell tenni. A szakmai kandidátusi vizsga alól mentesülhet az az egyetemi (egyetemi jellegű főiskolai) tanár, illetőleg docens, aki az értekezésének témájához tartozó szakmai tárgyat rendszeresen oktatja.

A TMB az illetékes egyetemi kari tanács javaslatára a szakmai vizsga egyes tárgyai alól mentesítheti azt a pályázót, aki öt évnél nem régebben valamely belföldi egyetemen a vizsgatárgyból kiváló eredménnyel egyetemi doktori szigorlatot tett.

A kandidátusi fokozatra pályázó értekezésének benyújtása előtt kérheti a TMB-től a téma jóváhagyását. Ha a TMB a témát előzetesen jóváhagyta és a pályázó értekezését öt éven belül benyújtja, az előbírálathoz adott véleményben nem lehet ezt a témát kifogásolni.

A kandidátusi fokozat elnyerésére pályázó belföldön, illetőleg külföldön ösztöndíjas, vagy levelező aspirantúra formájában részesülhet szervezett képzésben.

Belföldi ösztöndíjas aspirantúrára a TMB által meghirdetett pályázatban megjelölt tudományszakban, illetőleg témában lehet pályázót felvenni.

Belföldi levelező aspirantúrára csak a gyakorlatban dolgozó olyan szakember vehető fel, aki a társadalom időszerű célkitűzéseivel összhangban álló



tudományos téma megoldásán dolgozik, és megjelent írásművekkel vagy más módon igazolja, hogy a kutatásban előrehaladt.

A belföldi levelező aspiráns értekezésének befejezésére és a vizsgákra való felkészülésre a munkaviszonya alapján járó szabadságán felül legfeljebb két részben igénybevehető, összesen hattól tizenkét hónapig terjedhető rendkívüli szabadságban részesül.

Az egyetemek (főiskolák) feladatai és jogai bővülnek:

a) a TMB felkérésére kidolgozzák a szakmai vizsga egyes tárgyainak vizsgaanyagát;

b) a TMB felkérésére vizsgabizottságokat alakítanak, kandidátusi vizsgát tartanak;

c) gondoskodnak a beosztott aspiránsok filozófiai és idegennyelvi oktatásáról, valamint vizsgáztatásáról;

d) az aspiránsok részére speciál-kollégiumot tartanak;

e) javaslatot tehetnek kiemelkedő színvonalú egyetemi doktori értekezésnek kandidátusi értekezésékként való elfogadására.

Szakmai vizsgabizottság alakításával és szakmai vizsgák lefolytatásával kutatóintézmény is megbízható.

Az opponenseknek véleményükben részletesen ki kell fejteniük az értekezés érdemeit és hibáit. A lefolytatott kutatás módszereinek értékelését kell adniuk. Ideológiai vonatkozású értekezés esetében vizsgálniuk kell, hogy a marxizmus—leninizmus elmélete alapján és módszereinek alkalmazásával történt-e a forrásanyag feldolgozása, az elvi-elméleti kérdések taglalása. Tételesen állást kell foglalniuk a tekintetben, hogy a pályázó mely tudományos eredményeit ismerik el új tudományos eredményként. Összegezően megokolt javaslatot kell tenniük arra, hogy az értekezés nyilvános vitára bocsátását javasolják-e, vagy sem.

E szerint az opponens a jövőben csak a nyilvános vitára bocsátás kérdésében köteles opponensi véleményében állást foglalni. A kért tudományos fokozat odaítélésének kérdésében az opponens is, mint a bíráló bizottság többi tagja, a bíráló bizottság zárt ülésén a titkos szavazással foglal állást.

Ha az opponensek többségének véleménye negatív, a kandidátusi, illetve doktori értekezés általában nem bocsátható nyilvános vitára, a pályázó kérésére azonban a TMB hozzájárulhat a nyilvános vita megtartásához.

A TMB javaslatot tehet az illetékes egyetemen a tudományok doktora részére címzetes egyetemi (főiskolai) tanári cím, a tudományok kandidátusa részére pedig címzetes egyetemi (főiskolai) docensi cím adományozására, ha a tudományos fokozattal rendelkező személy a tudományos szakemberképzés terén kiemelkedő tevékenységet fejtett ki.

A külföldön szerzett tudományos fokozatot a megfelelő magyar tudományos fokozattal kell honosítani, ha annak megszerzése a TMB előzetes jóváhagyásával történt. A TMB ilyen esetben is megkövetelheti belföldön

kiegészítő vizsgák letételét, szükség esetén hivatalos bírálót küldhet külföldre, vitás esetekben a külföldi szervtől további tájékoztatást kérhet.

Ha a tudományos fokozat megszerzése külföldön nem a TMB kezdeményezése alapján történt, a TMB a honosítás felől az összes körülmény mérlegelése alapján határoz: azt megtagadhatja, illetőleg további feltételekhez kötheti.

A TMB engedélyével nem magyar állampolgár saját költségén is részt vehet belföldi aspirantúrán.

### III. A minősítettek megoszlása a különböző tudományterületeken

|   | doktorok | kandidátusok |
|---|----------|--------------|
| Állam- és jogtudományok .....             | 20       | 115          |
| Állatorvostudományok .....                | 11       | 67           |
| Biológiai tudományok .....                | 43       | 192          |
| Filozófiai tudományok .....               | 7        | 85           |
| Fizikai és csillagászati tudományok ..... | 22       | 120          |
| Földtudományok .....                      | 23       | 44           |
| Földrajztudományok .....                  | 7        | 52           |
| Gyógyszerészeti tudományok .....          | 1        | 11           |
| Irodalomtudományok .....                  | 12       | 129          |
| Kémiai tudományok .....                   | 58       | 422          |
| Közgazdaságtudományok .....               | 20       | 207          |
| Matematikai tudományok .....              | 23       | 81           |
| Mezőgazdasági tudományok .....            | 27       | 363          |
| Műszaki és Közlekedéstudományok** .....   | 84       | 596          |
| Művészettörténeti tudományok .....        | 9        | 22           |
| Neveléstudományok .....                   | 3        | 46           |
| Nyelvészeti tudományok .....              | 20       | 81           |
| Orvostudományok .....                     | 94       | 675          |
| Pszichológiai tudományok .....            | 4        | 25           |
| Történelemtudományok .....                | 25       | 214          |
| Zenetudományok .....                      | 3        | 13           |
| Összesen:                                 | 516      | 3560         |

\*\* Ebből 3 a közlekedéstudományok doktora, 15 a közlekedéstudományok kandidátusa fokozattal rendelkezik.

**IV. A minősítettek megoszlása**  
*a Műszaki Tudományok Osztálya illetékességi területein*

|  | doktor   | kandidátus |
|--|----------|------------|
| <b>Gépészet</b>                                  |          |            |
| Elméleti gépészet                                |          |            |
| Műszaki mechanika .....                          | 2        | 16         |
| Áramlástan .....                                 | 1        | 7          |
| Méréstan .....                                   |          | 3          |
| Gépelemek .....                                  | 1        | 5          |
| Gépszerkezettan                                  |          |            |
| Áramlástechnikai gépek .....                     | 2        | 12         |
| Közeledési gépek .....                           |          | 7          |
| Szerszámgepek .....                              |          | 10         |
| Emelő- és szállítógepek .....                    |          | 5          |
| Vegyipari gépek .....                            |          | 6          |
| Mezőgazdasági- és élelmiszeripari gépek .....    |          | 8          |
| Textilipari gépek .....                          | 1        | 4          |
| Papír- és faipari gépek .....                    |          | 4          |
| Gépészeti technológia                            |          |            |
| Metallográfia, hőkezelés és anyagvizsgálat ..... |          | 2          |
| Hegesztés .....                                  |          | 5          |
| Forgácsolás és szerszámai .....                  | 2        | 6          |
| Gépgyártástechnológia .....                      |          | 4          |
| Képlékeny alakítás .....                         |          | 4          |
| Készülék és szerszámszerkesztés .....            |          |            |
| Textilipari technológia .....                    |          | 12         |
| Papír és faipari technológia .....               |          | 5          |
| Műanyagipari technológia .....                   |          | 2          |
| <b>Összesen:</b>                                 | <b>9</b> | <b>127</b> |
| <b>Kohászat</b>                                  |          |            |
| Metallurgia                                      |          |            |
| Nyersvasgyártás .....                            | 1        | 2          |
| Acélgyártás .....                                |          | 5          |
| Öntészet .....                                   |          | 6          |
| Színesfémkohászat .....                          | 2        | 5          |
| A könnyűfémek kohászata .....                    | 1        | 6          |
| Fémek technológiája                              |          |            |
| Hengerlés .....                                  |          | 3          |
| Kovácsolás, sajtolás .....                       | 1        | 1          |
| Csőgyártás .....                                 |          |            |
| Hidreálakítás .....                              |          | 3          |
| Általános metallográfia                          |          |            |
| Fémfizika .....                                  |          | 6          |
| Metallográfia .....                              | 1        | 4          |
| Anyagvizsgálat .....                             |          | 2          |
| Hőkezelés .....                                  |          | 1          |
| Kohógépészet                                     |          |            |
| Kohógéptan .....                                 |          |            |
| Kohászati folyamatok automatizálása .....        |          | 1          |

|  | doktor    | kandidátus |
|--|-----------|------------|
| <b>Kohászati hőtechnika</b>                              |           |            |
| Tüzeléstan .....   |           | 2          |
| Kohászati kemencék .....                                 | 1         | 2          |
| <b>Összesen:</b>   | <b>7</b>  | <b>49</b>  |
| <b>Energetika</b>  |           |            |
| Energiagazdálkodás .....                                 |           | 10         |
| Hő- és atomerőművek .....                                | 2         | 5          |
| Tüzeléstechnika .....                                    | 1         | 4          |
| Fűtés, szellőzés, klimatizálás, szárítás .....           | 1         | 11         |
| Kalórikus gépek és berendezések .....                    |           |            |
| Gőzturbinák .....  |           | 4          |
| Dugattyús gőzgépek .....                                 |           | 2          |
| Belsőégésű motorok .....                                 | 1         | 5          |
| Gázturbinák .....  |           | 2          |
| Hűtőgépek .....  |           | 1          |
| Villamos erőművek és hálózatok .....                     | 2         | 9          |
| Villamosgépek, készülékek és mérések .....               | 2         | 18         |
| Világítástechnika .....                                  |           |            |
| Villamos hőtechnika .....                                |           | 2          |
| Ipari elektronika és villamoshajtások .....              | 2         | 12         |
| Nagyfeszültségű- és szigeteléstechika .....              | 2         | 7          |
| Félvezetőtechnika .....                                  |           | 2          |
| <b>Összesen:</b>   | <b>13</b> | <b>94</b>  |
| <b>Híradástechnika, elektronika, automatika, műszer</b>  |           |            |
| <b>Elektronika — Híradástechnika</b>                     |           |            |
| Elektronikus alkatrészek és eszközök; technológia .....  |           | 3          |
| Híradástechnikai alkatrészek .....                       | 1         | 7          |
| Elektroncsövek, elektronoptika .....                     | 1         | 8          |
| Félvezető és kvantummechanikai eszközök .....            |           | 4          |
| Mágneses anyagok, ferritek .....                         |           | 3          |
| Híradásipari technológia .....                           |           |            |
| Fényforrások .....                                       |           | 3          |
| Általános vákuumtechnika .....                           |           | 2          |
| Elektronikus áramkörök, berendezések .....               |           | 1          |
| Lineáris technika .....                                  |           | 1          |
| Nemlineáris technika .....                               |           | 1          |
| Elektronfizika .....                                     |           | 1          |
| Impulzustechnika .....                                   |           | 1          |
| Erősítők .....   |           |            |
| Adóberendezések .....                                    |           | 1          |
| Vevőberendezések .....                                   |           |            |
| Televízió .....  |           |            |
| <b>Rendszertechnika, hírközlélmélet</b>                  |           |            |
| Információelmélet .....                                  |           | 1          |
| Hírközlélmélet .....                                     |           | 1          |
| Rendszertechnika .....                                   |           |            |
| <b>Híradástechnikai automatika és digitális technika</b> |           |            |
| Automatika .....   |           |            |
| Szabályozástechnika .....                                | 1         | 2          |
| Digitális technika .....                                 |           |            |

|  | doktor    | kandidátus |
|--|-----------|------------|
| <b>Vezetékes hírközlés, átviteltechnika</b>                |           |            |
| Lineáris hálózatok .....                                   |           | 2          |
| Kapcsolás elmélet .....                                    |           | 1          |
| Távbeszélő- és távírótechnika .....                        |           | 3          |
| Nagytávolságú hírközlés .....                              |           | 3          |
| Átviteltechnika .....                                      |           | 2          |
| Hullámterjedés, antennák, tápvonalak .....                 |           | 3          |
| Mikrohullámú alkatrészek és áramkörök .....                |           | 1          |
| Mikrohullámú berendezések .....                            | 1         | 1          |
| Mikrohullámú rendszerek .....                              | 1         | 1          |
| Mikrohullámú mérések és műszerek .....                     | 1         | 1          |
| Akusztika .....  |           | 2          |
| <b>Automatika</b>  |           |            |
| Automatika elmélet .....                                   | 1         | 3          |
| Elektronikus elemek .....                                  |           | 2          |
| Erősáramú elemek és villamos hajtások .....                |           | 1          |
| Pneumatikus elemek .....                                   |           | 2          |
| Táv mérés, távirányítás .....                              |           | 3          |
| Folyamatszabályozás .....                                  |           | 5          |
| Ipari folyamatok automatizálása .....                      | 1         | 3          |
| Ügyvitelautomatizálás, információ feldolgozás .....        |           | 2          |
| Analog és digitális számítógéptechnika .....               |           | 2          |
| Az automatizálás gazdaságossága .....                      |           |            |
| A kibernetika műszaki vonatkozásai .....                   |           |            |
| <b>Műszer</b>  |           |            |
| Elektromechanikus műszerek, készülékek és mérések .....    |           | 4          |
| Elektronikus műszerek, automatikai elemek és mérések ..... |           | 6          |
| Folyamat műszerezés .....                                  |           | 2          |
| Mechanikai, pneumatikus és optikai műszerek .....          |           | 2          |
| Finommechanika .....                                       |           |            |
| <b>Összesen:</b>   | <b>8</b>  | <b>93</b>  |
| <b>Építészet</b>   |           |            |
| Általános mérnöki tudományok és építéstudomány             |           |            |
| Építészeti mechanika (statika és szilárdságtan) .....      | 6         | 15         |
| Építőanyagok .....   | 2         | 11         |
| Vasbetonszerkezetek .....                                  | 2         | 9          |
| Fémszerkezetek .....                                       | 1         | 7          |
| Geotechnika, mélyépítés .....                              | 1         | 10         |
| Épületszerkezetek .....                                    | 3         | 4          |
| Építésszervezés, építésgazdaságtan .....                   | 1         | 10         |
| Épületek tervezése .....                                   | 1         | 6          |
| Építészettörténet .....                                    | 1         | 8          |
| Településtudomány, városépítés .....                       | 2         | 11         |
| Épületgépészet .....                                       |           | 3          |
| <b>Összesen:</b>   | <b>20</b> | <b>94</b>  |
| <b>Hidrológia</b>  |           |            |
| Hidromechanika, műszaki hidrológia .....                   | 5         | 10         |
| Vízgazdálkodás .....                                       | 1         | 7          |



|  | doktor | kandidátus |
|--|--------|------------|
| Vzellátás, csatornázás, szennyvíztisztítás .....               |        | 3          |
| Vízépítési műtárgyak, vízerőhasznosítás, vízkészletgazdálkodás | 2      | 3          |
| Összesen:  | 8      | 23         |
| <i>Közlekedés</i>  |        |            |
| Útépítés és közúti forgalom .....                              | 1      | 5          |
| Vasútépítés .....  |        | 11         |
| Közlekedési üzem .....   | 1      | 11         |
| Közlekedésgépészet .....                                       |        | 7          |
| Közlekedésgazdaságtan .....                                    | 4      | 6          |
| Összesen:  | 6      | 37         |
| Összesen: .....  | 71*    | 517*       |

\* A műszaki tudományok minősítettjei közül 13 doktor és 79 kandidátus a földtudományok területén dolgozik.



# A TUDOMÁNYOS MINŐSÍTŐ BIZOTTSÁG HÍREI

Közérdekű igényt óhajtunk szolgálni azzal, hogy rovatot nyitunk a tudományos minősítés időszerű kérdései részére. Ebben a rovatban a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának tudományos státusában bekövetkezett változásokat, valamint a Tudományos Minősítő Bizottság azon elvi határozatait közöljük, melyek közérdeklődésre tarthatnak számot.

Rovatunk megindítása kapcsán az alábbiakban közzétesszük a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya területén működő akadémikusok, akadémiai levelező tagok, doktorok és kandidátusok névjegyzékét.\*

## A) AKADÉMIKUSOK

|   |  |
|---|--|
| BENEDIKT OTTÓ (1897, 1958) MTA AKI                      | hőtechnika                                       |
| villamosgépek   | energiagazdálkodás                               |
| villamos hajtás és vontatás,                            | KOVÁCS K. PÁL (1907, 1970)                       |
| automatika  | erősáramú elektrotechnika                        |
| BOGNÁR GÉZA (1909, 1958) TÁKI                           | villamosgépek és hálózatok                       |
| híradástechnika   | automatizálás                                    |
| mikrohullámú rádióösszeköttetések                       | MAJOR MÁTÉ (1904, 1960) BME Építészeti           |
| mikrohullámú lőkétorok                                  | történeti Tsz.                                   |
| CSANÁDI GYÖRGY (1905, 1970) KPM                         | építészettörténet                                |
| közlekedéstudomány                                      | építészetelmélet                                 |
| a vasúti üzemtan műszaki problémái                      | MILLNER TIVADAR (1899, 1961) MTA MŰFI            |
| a vasúti üzemtan gazdasági problémái                    | híradástechnika                                  |
| GILLEMOT LÁSZLÓ (1912, 1965) BME Mechanikai Techn. Tsz. | a wolframfémgyártás és technológia               |
| anyagvizsgálat  | természettudományos alapkérdései                 |
| hegesztéstechnológia                                    | SZÉCHY KÁROLY (1903, 1970) BME Geotechnikai Tsz. |
| titánélállítás  | hídépítés  |
| titánfeldolgozás  | alapozás   |
| HELLER LÁSZLÓ (1907, 1962) BME Energia-gazd. Tsz.       | alagútépítés                                     |
|   | SZIGETI GYÖRGY (1905, 1958) MTA MŰFI             |

\* Ebben a névjegyzékben a név után zárójelben közölt két évszám közül az első a születési évet, a második a tudományos fokozat elnyerésének évét jelenti. A névjegyzék az 1970. okt. 30-i helyzetet tünteti fel.

A használt rövidítéseket a névjegyzék végén soroljuk fel.

híradástechnika  
vákumtechnika  
gázkisülések  
lumineszkáló anyagok és félvezetők fi-  
zikája és technikája  
félvezetők fizikája és technikája

VERŐ JÓZSEF (1904, 1949) VASKUT  
kohászat  
metallográfia  
WINTER ERNŐ (1897, 1956) MTA MŰFI  
híradástechnika  
elektroncső (izzó katódok)

### B) LEVELEZŐ TAGOK

BARTA ISTVÁN (1910, 1949) BME Vezeték-  
nélküli Hír. Tsz.  
televíziótechnika  
akusztika  
BÁRÁNY NÁNDOR (1899, 1953)  
optika  
finommechanika  
finommechanikai szerkezetek és azok  
optikai felépítése  
BOGÁRDI JÁNOS (1909, 1962) BME Vízépítési  
Tsz.  
hidraulika  
hidrológia  
BORBÉLY SAMU (1907, 1946)  
alkalmazott matematika  
hővezetés  
ballisztika  
BÖLCSKEI ELEMÉR (1917, 1967) BME Vas-  
betonszerkezetek Tsz.  
hídépítés  
CSÁKI FRIGYES (1912, 1965) BME Auto-  
matizálási Tsz.  
automatika  
elektronika  
FONÓ ALBERT (1881, 1954) KGMTI  
hőenergetika  
ipari erőművek,  
ipartelepek, bányák és kohóművek  
energiagazdasága

GESZTI P. OTTÓ (1922, 1967) BME Villamos-  
művek Tsz.  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
KÉZDI ÁRPÁD (1919, 1970) BME Geotech-  
nikai Tsz.  
talajmechanika  
földművek  
KOZMA LÁSZLÓ (1902, 1961) BME Vezetékes  
Híradást. Tsz.  
vezetékes híradástechnika  
LÉVAI ANDRÁS (1908, 1962) BME Hőerő-  
művek Tsz.  
hőerőművek  
atomtechnika  
energiagazdálkodás  
PROHÁSZKA JÁNOS (1920, 1970) BME Villa-  
mosip. Anyagtechn. Tsz.  
képlékeny alakváltozás  
fémtan  
SZABÓ JÁNOS (1920, 1970) ÉVM  
mechanika  
rugalmasságtan  
rúdszerkezetek mechanikája és kinema-  
tikája  
SZENDY KÁROLY (1911, 1970) ERŐTERV  
hálózatelmélet  
rendszer megbízhatóság

### C) A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORAI

ALBERT JÁNOS (1896, 1960) SZKKT  
építőanyagok  
ALMÁSSY GYÖRGY (1919, 1968) TÁKI  
mikrohullámú mérések  
mikrohullámú műszerek  
ÁCS ERNŐ (1907, 1953)  
távbeszélőtechnika  
nagy távolságú hírközlés  
mikrohullámú rendszerek  
BARTA JÓZSEF (1897, 1955)  
építészeti mechanika  
BASSA GÁBOR (1924, 1970) BME Kalorikus  
Gépek Tsz.  
tűzeléstechnika  
gőzkazánok  
BEKE BÉLA (1909, 1963) SZKKT  
kohászati kemencék  
áramlástechnikai gépek  
BERCELI TIBOR (1929, 1965) TÁKI  
mikrohullámú berendezések

mikrohullámú mérések  
mikrohullámú műszerek  
CZIBERE TIBOR (1930, 1967) NME Áramlás  
és Hőtechnikai Gépek Tsz.  
áramlástan  
áramlástechnikai gépek  
CSOKÁN PÁL (1914, 1964) FÉMKUT  
elektrokémia  
CSONKA PÁL (1896, 1952)  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
héjszerkezetek  
DALLOS ANDRÁS (1921, 1968) TÁKI  
elektroncsövek  
elektronoptika  
DÉRI MÁRTA (1918, 1963) VVE  
Szilikátkémiai Tsz.  
szilikátok technológiája  
DOBOS GYÖRGY (1920, 1967) M. Alumínium-  
ipari Tröszt

- könnyűfémek kohászata  
DOMONY ANDRÁS (1912, 1961) Alumínium  
Alkalmazást. Közp.  
fémek technológiája  
EISLER JÁNOS (1907, 1954) BME Nagy-  
feszültségű Techn. Tsz.  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika  
FODOR GYÖRGY (1929, 1969) BME Elm.  
Villamosságtan Tsz.  
automatika  
folyamatszabályozás  
FORGÓ LÁSZLÓ (1907, 1965) ECI  
energiagazdálkodás  
hőerőművek  
tüzeléstechika  
hűtőgépek  
GÁBOR LÁSZLÓ (1910, 1958) BME Épület-  
szerkezetani Tsz.  
épületszerkezetek  
GRANASZTÓI PÁL (1908, 1967)  
településtudomány  
városépítés  
GRUBER JÓZSEF (1915, 1965) BME Áramlás-  
tani Tsz.  
áramlástechnikai gépek  
áramlástan  
GYENGŐ TIBOR (1910, 1952) Beton- és Vas-  
betonip. Művek  
mechanika  
vasbetonszerkezetek  
HALÁSZ DÉNES (1891, 1952)  
energiagazdálkodás  
hőerőművek  
gőzturbinák  
HORNUNG ANDOR (1898, 1954)  
gépészeti technológia  
forgácsolás és szerszámai  
HORVÁTH ZOLTÁN (1921, 1961) NME Fém-  
kohásztani Tsz.  
metallurgia elmélete  
színesfémkohászat  
könnyűfémek kohászata  
IGNÁCZ PÁL (1911, 1959) VEIKI  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
nagyfeszültségű technika  
JÁNDY GÉZA (1922, 1967) BME Közleke-  
dés és Építőip. Gazd. Tsz.  
közlekedési üzem  
közlekedésgazdaságtan  
KALISZKY SÁNDOR (1927, 1966) BME Mecha-  
nika Tsz.  
építészeti mechanika  
KATONA JÁNOS (1912, 1963) HIKI  
híradástechnikai alkatrészek  
híradásipari technológia  
KNAPP OSZKÁR (1892, 1958)  
szilikátok technológiája  
KOLLÁR LAJOS (1926, 1963) BUVÁTI  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
KORÁNYI IMRE (1896, 1952)  
építészeti mechanika  
fémszerkezetek  
KOTSIS IVÁN (1889, 1957)  
épületek tervezése  
építészettörténet  
KOVÁCS GYÖRGY (1925, 1961) VITUKI  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízépítési műtárgyak  
vízkészletgazdálkodás  
KOVÁCSHÁZY FRIGYES (1914, 1964)  
FŐMTERV  
geotechnika  
mélyépítés  
KOZÁK MIKLÓS (1924, 1968) BME Víz-  
építési Tsz.  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
LAMPL HUCÓ (1883, 1955)  
vízépítési műtárgyak  
vízerőhasznosítás  
LÁSZLÓFFY WOLDEMÁR (1903, 1956) VITUKI  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízgazdálkodás  
vízépítési műtárgyak  
vízerőhasznosítás  
LÉVAI ZOLTÁN (1929, 1970) BME Gépjárművek  
Tsz.  
műszaki mechanika  
LUKÁCS JÓZSEF (1925, 1968) VKI  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
félvezetőtechnika  
MACSKÁSY ÁRPÁD (1904, 1965) BME Épület-  
gépészeti Tsz.  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás  
szárítás  
MAJOR SÁNDOR (1899, 1957)  
építészeti mechanika  
épületszerkezetek  
épületek tervezése  
MÁNDI ANDOR (1891, 1958)  
villamos erőművek  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
V. NAGY IMRE (1927, 1964) BME Vízgazdál-  
kodási Tsz.  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
NEMESDY ERVIN (1925, 1960) BME Út-  
építési Tsz.  
útépítés  
közúti forgalomtechnika  
vasútépítés  
NÉMETH ENDRE (1891, 1952)  
hidromechanika



- műszaki hidrológia  
vízgazdálkodás  
vízellátás  
csatornázás  
PALOTÁS LÁSZLÓ (1905, 1952) építészeti mechanika  
építőanyagok  
vasbetonszerkezetek  
PERÉNYI IMRE (1913, 1959) BME településtudomány  
városépítés  
RADOS JENŐ (1895, 1958) VÁTERV építészettörténet  
RADOS KORNÉL (1901, 1970) BME Ipari és Mezőgazd. Épületek Terv. Tsz.  
építészeti mechanika  
épületszerkezetek  
épületek tervezése  
SÁLYI ISTVÁN (1901, 1958) NME Mechanika Tsz.  
műszaki mechanika  
SEBESTYÉN GYULA (1921, 1966) ÉTI építésszervezés  
építésgazdaságtan  
SIMON SÁNDOR (1923, 1966) NME Vaskohászattani Tsz.  
acélgyártás  
nyersvasgyártás  
SITKEI GYÖRGY (1931, 1964) BME Mezőgazdasági Gépek Tsz.  
mezőgazdasági gépek  
belsőégésű motorok  
SZESZTAY KÁROLY (1925, 1964) VITUKI hidromechanika  
műszaki hidrológia  
SZÉKI PÁLMA (1904, 1961) metallográfia  
hőkezelés  
SZMODITS KÁZMÉR (1908, 1961) ÉTI építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
TARJÁN REZSŐ (1908, 1952) híradástechnikai automatika  
digitális technika  
TERPLÁN ZÉNÓ (1921, 1966) NME Gépelemek Tsz.  
gépszerkezettan  
gépelemek  
TURÁNYI ISTVÁN (1911, 1966) BME Közlekedésüzemi Tsz.  
közlekedési üzem  
TUSCHÁK RÓBERT (1927, 1963) BME Folyamatszabályozási Tsz.  
villamos gépek  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
URBANEK JÁNOS (1905, 1953) villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
világítástechnika  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika  
félfvezetőtechnika  
VAJDA GYÖRGY (1927, 1965) VEIKI nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika  
VAJTA MIKLÓS (1911, 1952) VEIKI villamos erőművek  
villamos hálózatok  
villamos készülékek  
VALKÓ IVÁN PÉTER (1912, 1963) BME Elektroncsövek és Félfvez. Tsz.  
elektroncsövek  
félfvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök  
VARGA JÓZSEF (1903, 1958) BME Vízgépek Tsz.  
áramlástechnikai gépek  
VÁMOS TIBOR (1926, 1964) MTA AKI villamos erőművek  
villamos hálózatok  
ip. folyamatok automatizálása  
automatika elmélet  
VÁRHEGYI GYÖZŐ (1929, 1968) FÉMKUT színesfémkohászat  
VISNYOVSKY LÁSZLÓ (1910, 1952) VASKUT ásványelőkészítés  
nyersvasgyártás  
ZILAHÍ MÁRTON (1905, 1955) TKI textilipari gépek  
textilipari technológia

#### D) A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYOK DOKTORAI

- CZÉRE BÉLA (1915, 1965) Közlekedési Műzeum közlekedésgazdaságtan  
KÁNYA ERNŐ (1904, 1965) UVATERV közlekedésgazdaságtan  
LADÓ LÁSZLÓ (1919, 1969) BME Üzemgazdaságtan Tsz.  
közlekedésgazdaságtan  
ügyvitelautomatizálás

#### E) A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSAI

- ALKÉR TIBOR (1901, 1961) MIKI átviteltechnika  
elektromechanikus műszerek  
elektromechanikus készülékek  
AMBRÓZY ANDRÁS (1931, 1966) BME Elektromechanika és Félfv. Tsz.  
elektronikus áramkörök  
elektronikus berendezések

- félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök  
ANTAL BOZA JÓZSEF (1932, 1963) NME Tüze-  
léstani Tsz.  
szilikátok technológiája  
ASZTALOS PÉTER (1923, 1965) Ganz Villa-  
mossági Művek  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
ÁCS MIKLÓS (1922, 1967) MTA AKI  
szerszámgépek  
ÁRVAY KÁLMÁN (1935, 1970) BME Mecha-  
nika Tsz.  
építészeti mechanika  
BACH IVÁN (1927, 1964) MTA AKI  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
operációkutatás  
BAJCSAY PÁL (1925, 1962) BME  
Matematika Tsz.  
áramlástan  
BAJOR GYÖRGY (1933, 1963) BME Elektron-  
csövek és Félv. Tsz.  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök  
BAJZA LAJOS (1925, 1968) BME Villamos-  
gépek Tsz.  
villamos mérések  
elektromechanikus műszerek  
elektromechanikus készülékek  
elektromechanikai mérések  
BAKONDI KÁROLY (1925, 1957) BME Gép-  
gyártástechn. Tsz.  
gépgyártástechnológia  
forgácsolás és szerszámai  
BALÁZS ENDRE (1926, 1961) FÉMKUT  
könnyűfémek kohászata  
BALÁZS GYÖRGY (1926, 1963) BME Építő-  
anyagok Tsz.  
építőanyagok  
vasbetonszerkezetek  
BALI JÁNOS (1931, 1963) SZIM  
forgácsolás és szerszámai  
BALKÁNYI GYÖRGY (1933, 1962) VILATI  
automatika elmélet  
folyamatszabályozás  
BALLÓ ALFRÉD (1902, 1962) KPM Autóköz-  
Vezérig.  
közlekedési gépek  
belsőégésű motorok  
BALOGH ARTHUR (1883, 1958)  
műszaki mechanika  
szerszámgépek  
BALOGH BÉLA (1909, 1967) MHD  
áramlástan  
közlekedési gépek  
BALOGH ISTVÁN (1933, 1969) Magnezitip.  
Művek  
áramlástechnikai gépek  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás  
szárítás  
BARCS VILMOS (1929, 1960) ÉTI  
épületgépészet  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás  
BARÁT ZOLTÁN (1927, 1968) BME Vezeték-  
nélk. Hir. Tsz.  
akusztika  
híradástechnikai tudományok tanítása  
BARDÓCZ ISTVÁN (1911, 1964) M. Acéláru-  
gyár  
metallográfia  
hőkezelés  
anyagvizsgálat  
BARKÁSZ EMIL (1895, 1956)  
műszaki mechanika  
BARNA GYÖRGY (1922, 1962) OMK  
mágneses anyagok  
BARÓCSI MIHÁLY (1929, 1965) Felsőf. Építő-  
gépészeti Techn.  
emelő és szállítógépek  
építésszervezés  
BÁN GÁBOR (1926, 1960) BME Villamos-  
művek Tsz.  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika  
BÁNHIDI LÁSZLÓ (1931, 1970) ÉTI  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás  
BÁTOR BÉLA (1921, 1966) EGI  
hőerőművek  
tűzeléstechika  
BECKER ERVIN (1899, 1964) FÉMKUT  
könnyűfémek kohászata  
BEDŐCS SÁNDOR (1928, 1963) TÁKI  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök  
BEJI SZABÓ DEZSŐ (1921, 1969) VBKM  
Gyártmányfejl. I.  
villamos hőtechnika  
BENEDEK LÁSZLÓ (1914, 1963) MVM  
energiagazdálkodás  
hőerőművek  
dugattyús gőzgépek  
BENEDEK PÁL (1924, 1970) VITUKI  
vízgazdálkodás  
szennyvíztisztítás  
BENEDIKT SZVETLÁNA (1936, 1963) BME  
Automatizálási Tsz.  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
digitális számítógéptechnika  
BENKÓ IMRE (1926, 1961) ERŐTERV  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
nagyfeszültségű technika  
BETLEJ SÁNDOR (1930, 1966) AUTOKUT  
műszaki mechanika  
közlekedési gépek

- BÉDA GYULA (1931, 1961) BME Műszaki Mechanika Tsz.  
műszaki mechanika
- BÉRES ELEK (1923, 1969) BME Matematika Tsz.  
építészeti mechanika
- BIACS NÁNDOR (1909, 1970)  
közlekedési gépek
- BIRÓ ATTILA (1931, 1970) TÜKI  
tűzeléstan  
kohászati kemencék
- BIRÓ EUGÉNIA (1908, 1961)  
képlékeny alakítás
- BIRÓ VIKTOR (1928, 1960) TÁKI  
mikrohullámú alkatrészek  
mikrohullámú áramkörök
- BITÓ JÁNOS (1936, 1967) HIKI  
híradásipari technológia  
elektronfizika
- BLAHÓ MIKLÓS (1919, 1960) BME Áramlás-tani Tsz.  
áramlástan
- BOCZOR ISTVÁN (1915, 1962) FÉMKUT  
képlékeny alakítás
- BOGDÁN MIHÁLY (1926, 1962) EVIG  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- BOGOLY ISTVÁN (1920, 1969) VKI  
villamos gépek  
villamos hőtechnika
- BÓKA ANDRÁS (1929, 1968) VILATI  
elektronikus elemek  
ipari automatika
- BÓKAY BÉLA (1928, 1964) VEIKI  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- BONTA JÁNOS (1921, 1961) BME Középület Terv. Tsz.  
épületek tervezése  
építészettörténet
- BORSOS JÓZSEF (1901, 1960) BME Vízgaz-dálkodási Tsz.  
településtudomány  
városépítés
- BOSZNAY ADÁM (1926, 1958) BME Mech. Tsz.  
műszaki mechanika
- BÖLÖNI ISTVÁN (1928, 1961) Mg Gépkis. I.  
mezőgazdasági gépek
- BRODSZKY DEZSŐ (1910, 1959) BME Kalo-rikus Gépek Tsz.  
gázturbinák  
belsőégésű motorok
- BUCZOLICS ÖDÖN (1934, 1965) AE Géptani Tsz.  
mezőgazdaság munkagépei
- BUDINCSEVITS ANDOR (1905, 1952) TÁKI  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök  
elektroncsövek  
elektronoptika
- BUJTOR JENŐ (1927, 1960) BME Gépj. Tsz.  
közlekedési gépek
- BURAY ZOLTÁN (1919, 1957) FÉMKUT  
metallográfia  
hegesztés
- BÜKI GERCELY (1932, 1966) BME Hőerő-művek Tsz.  
hőerőművek  
atomerőművek
- BÜKI IMRE (1931, 1962) NIM OEH  
energiagazdálkodás  
hőerőművek  
atomerőművek
- CHOLNOKY TIBOR (1901, 1964) BME Mecha-nika Tsz.  
építészeti mechanika
- CZEGLÉDI BÉLA (1930, 1962) MÉV Kis. Kut. és Automat. Üzem  
színesfémkohászat
- CZÉGI JÓZSEF (1922, 1954) BME Gépelemek Tsz.  
gépelemek
- CZIRÁKI JÓZSEF (1928, 1968) EFE Faip. Techn. Tsz.  
faipari technológia
- CZOBOLY ERNŐ (1929, 1967) FÉMKUT  
metallográfia  
anyagvizsgálat
- CSÁK JÓZSEF (1935, 1969) Székesfehérvári Könnyűfém-mű  
metallurgia  
fémek technológiája
- CSEPÉGA ZOLTÁN (1924, 1957) VASKUT  
fémfizika  
metallográfia
- CSER GYULA (1934, 1969) AUTOKUT  
belsőégésű motorok
- CSERMÁK BÉLA (1920, 1969) VITUKI  
vízgazdálkodás  
vízkészlet gazdálkodás
- CSEERNÁTONY-HOFFER ANDRÁS (1928, 1961) BME Villamosművek Tsz.  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika
- CSIBI SÁNDOR (1927, 1961) TÁKI  
mikrohullámú technika  
mikrohullámú rendszerek
- CSURBAKOVA TATJÁNA (1935, 1969) Székesf. Könnyűfém-mű  
fémfizika  
metallográfia
- DALOCSA GÁBOR (1928, 1959) Szék- és Kárpitosip. V.  
papíripari gépek  
faipari gépek  
faipari technológia
- DANKOVICS JÓZSEF (1934, 1963) SZIMFI  
gépelemek  
szerszámgépek
- DEÁK GYÖRGY (1926, 1954) BME Szilárdság-tan Tsz.  
építészeti mechanika  
építőanyagok

- vasbetonszerkezetek  
**DEÁK SÁNDOR** (1921, 1968) BME Város-  
 építési Tsz.  
 településtudomány  
 városépítés
- DEBRECZENY ELEMÉR** (1923, 1966) VEGYTERV  
 építészeti mechanika  
 fémszerkezetek
- DÉKÁNY LÁSZLÓNÉ** (1934, 1970) BHG  
 híradásipari technológia
- DÉVÉNYI JÓZSEF** (1924, 1962) VIZITERV  
 építészeti mechanika  
 fémszerkezetek
- DISCHKA Győző** (1889, 1953)  
 textilipari gépek  
 textilipari technológia
- DOBOS ALAJOS** (1928, 1967) MM  
 vízgazdálkodás
- DÓCS JÁNOS** (1926, 1966) EGI  
 energiagazdálkodás
- DOMES OTTÓ** (1931, 1963) MKKL  
 textilipari technológia
- DOMONKOS SÁNDOR** (1931, 1967) BME Nagy-  
 feszültségű Techn. Tsz.  
 villamos készülékek
- DRAHOS ISTVÁN** (1931, 1966) NME Ábrázoló  
 Geometriai Tsz.  
 szerszámgépek
- DROBNI JÓZSEF** (1924, 1968) NME Gépele-  
 mek Tsz.  
 gépelemek  
 csigahajtások
- EGRI IMRE** (1903, 1955) VTRGY  
 elektronikus műszerek  
 automatikai elemek  
 automatikai mérések
- ELTERNÉ GOMBKÖTŐ EDIT** (1935, 1965)  
 BME Műszaki Mech. Tsz.  
 műszaki mechanika
- EMBER GYÖRGY** (1929, 1969) VBKM  
 automatika  
 szabályozástechnika  
 digitálstechnika
- ENDRENYI SÁNDOR** (1896, 1962) BME Épü-  
 letgépészeti Tsz.  
 szárítás
- EPERJESSY ANTAL** (1899, 1960)  
 műszaki mechanika
- ERDÉLYI ISTVÁN** (1900, 1958) EGI  
 energiagazdálkodás  
 hőerőművek  
 fűtés  
 szellőzés
- ERDÉLYI JÁNOS** (1922, 1955) EIVRT  
 mikrohullámú alkatrészek  
 mikrohullámú áramkörök
- ERDÉLYI TIBOR** (1921, 1969) KPM Vasúti  
 Főosztály  
 épületek tervezése  
 épületszerkezetek  
 építésgazdaságtan  
 közlekedésgazdaságtan  
 közlekedési üzem
- ERDŐDY ISTVÁN** (1935, 1964) BME  
 Energiagazd. Tsz.  
 fűtés  
 szellőzés  
 klimatizálás
- ERDŐSI NÁNDOR** (1921, 1963) Láng Gépgyár  
 gőzturbinák
- ERTL RÓBERT** (1901, 1960)  
 vasútépítés
- ÉLIÁS EGON** (1921, 1966) VIZITERV  
 építészeti mechanika  
 vasbetonszerkezetek
- ÉNEKES SÁNDOR** (1928, 1956) LKM  
 acélgyártás
- FARACÓ KÁLMÁN** (1923, 1962) BME Város-  
 építési Tsz.  
 településtudomány  
 városépítés
- FARKAS JÁNOS** (1927, 1966) BME Finom-  
 mechanika Optika Tsz.  
 finommechanika  
 ipari folyamatok automatizálása
- FARKAS JÓZSEF** (1927, 1966) NME Szállító-  
 berendezések Tsz.  
 műszaki mechanika  
 emelő és szállítógépek
- FARKAS OTTÓ** (1930, 1970) NME Vaskohá-  
 szattani Tsz.  
 metallurgia  
 nyersvasgyártás
- FAZAKAS BALÁZS** (1929, 1961) NME Szer-  
 számgépek Tsz.  
 szerszámgépek  
 forgácsolás és szerszámai
- FÁY ÁRPÁD** (1933, 1970) Ganz MÁVAG  
 vízgépek  
 áramlástan
- FÁY CSABA** (1928, 1969) DIGÉP  
 áramlástan  
 mérés tan  
 áramlástechnikai gépek
- FEHÉR JÁNOS** (1923, 1967) BME Textil-  
 technológiai Tsz.  
 textilipari gépek
- FEKETE EDE** (1913, 1955) LAKÓTERV  
 épületek tervezése  
 építészettörténet
- FEKETE GYÖRGY** (1919, 1964) KPM Hajózási  
 Főosztály  
 vízgazdálkodás
- FEKETE IVÁN** (1929, 1964) BME Épület-  
 gépészeti Tsz.  
 fűtés  
 szellőzés  
 klimatizálás
- FEKETE LÁSZLÓ** (1918, 1955) FÉMKUT  
 színesfémkohászat  
 könnyűfémek kohászata
- FELFÖLDI LÁSZLÓ** (1921, 1963) BME Közle-  
 kedésüzemi Tsz.  
 közlekedési üzem
- FISCHER GYÖRGY** (1930, 1966) KGST  
 építésszervezés

- építésgazda ágtan  
**FODOR JÓZSEF** (1926, 1967) AUTOKUT  
 anyagvizsgálat  
 közlekedési gépek  
**FRIGYES ANDOR** (1922, 1959) BME Folya-  
 matszabályozási Tsz.  
 automatika elmélet  
 folyamatszabályozás  
**FUCHS ERIK** (1930, 1962) VASKUT  
 fémfizika  
 metallográfia  
**FÜLÖP ZOLTÁN** (1929, 1961) BME Kalorikus  
 Gépek Tsz.  
 gőzturbinák  
 dugattyús gőzgépek  
**FÜREDI MIHÁLY** (1933, 1968) NIM OEH  
 energiagazdálkodás  
 villamoserőművek  
 villamos hálózatok  
**FÜRJES EMIL** (1929, 1969) OKÜ  
 metallurgia  
 acélgártás  
**FÜZY JENŐ** (1930, 1967) Keresk. Tervező  
 Iroda  
 építészeti mechanika  
 vasbetonszerkezetek  
**FÜZY OLIVÉR** (1921, 1965) BME Vízgépek  
 Tsz.  
 áramlástechnikai gépek  
**GAJÁRI JÓZSEF** (1906, 1958) MÁV Vasút-  
 tervező Ü. V.  
 vasútépítés  
 közlekedési üzem  
**GANSZKY KÁROLY** (1928, 1965) VKI  
 ipari elektronika  
 villamos hajtások  
**GARAI TAMÁS** (1927, 1953) OLAJTERV  
 vasbetonszerkezetek  
**GÁDOR LÁSZLÓ** (1912, 1960) VKI  
 villamos gépek  
 villamos készülékek  
 szigeteléstechika  
**GÁDOROS LAJOS** (1910, 1962) BME Középület  
 Terv. Tsz.  
 épületek tervezése  
**GÁL JÓZSEF** (1922, 1968) BME Közleke-  
 désvill. és Aut. Tsz.  
 távbeszélőtechnika  
**GÁLLIK ISTVÁN** (1920, 1962) UKI  
 műszaki mechanika  
 hegesztés  
 emelő- és szállítógepek  
**GÁSPÁR LÁSZLÓ** (1918, 1963) UKI  
 útépítés  
 geotechnika  
**GEDEON JÓZSEF** (1923, 1970) BME Aeró és  
 Termotechnikai Tsz.  
 áramlástan  
 áramlástechnikai gépek  
**GERENDÁS ISTVÁN** (1914, 1957) BME  
 Magasépítési Tsz.  
 épületszerkezetek  
**GEREY GYULA** (1927, 1961) MTA MŰFI  
 félvezető eszközök  
 kvantummechanikai eszközök  
**GERGELY TAMÁS** (1943, 1970) MTA KFKI  
 félvezető eszközök  
 kvantummechanikai eszközök  
**GERLE GYÖRGY** (1909, 1962) VÁTI  
 építésszervezés  
 építésgazdaságtan  
 településtudomány  
 városépítés  
**GERŐ LÁSZLÓ** (1909, 1953) O. Műemléki  
 Felügyelőség  
 építészettörténet  
**GERTLER JÁNOS** (1936, 1967) MTA AKI  
 automatika elmélet  
 folyamatszabályozás  
**GÉHER KÁROLY** (1929, 1962) BME Vezetékes  
 Híradást. Tsz.  
 elektronikus áramkörök  
 elektronikus berendezések  
 mikrohullámú alkatrészek  
 mikrohullámú áramkörök  
 lineáris hálózatok  
**GODA LÁSZLÓ** (1928, 1962) Dunabizottság  
 hidromechanika  
 műszaki hidrológia  
 vízgazdálkodás  
**GONDÁR JENŐ** (1908, 1953) BME Élelmiszer-  
 gépészeti Mk.  
 élelmiszeripari gépek  
 élelmiszeripari technológia  
**GOSCHY BÉLA** (1921, 1960) 43. sz. Állami  
 Ép. Ip. V.  
 építészeti mechanika  
 vasbetonszerkezetek  
**GRIBOVSKY LÁSZLÓ** (1930, 1961) NME Gép-  
 gyártástechn. Tsz.  
 gépgyártástechnológia  
**GULYA IMRE** (1931, 1964) BVK  
 tüzeléstechika  
**GYÖRY TIBOR** (1923, 1965) POKI  
 hírközlésmélet  
 rendszertechika  
**HAJDU ELEMÉR** (1902, 1953)  
 energiagazdálkodás  
 hőerőművek  
 gőzturbinák  
**HAJDU SÁNDOR** (1927, 1961) Ganz Mávag  
 áramlástechnikai gépek  
**HAJMÁSY TIBOR** (1927, 1969) TKI  
 szilárdtestfizika  
 mérésstan  
 textilipari technológia  
 műanyagipari technológia  
**HAJNÓCZY GYULA** (1920, 1966) BME Épí-  
 tészettörténeti Tsz.  
 építészettörténet  
**HAJNÓCZY LÁSZLÓ** (1896, 1952)  
 közlekedési gépek  
**HAJTÓ NÁNDOR** (1914, 1952) Kőbányai  
 Vas- és Acélöntöde  
 metallográfia  
 acélgártás



- HALÁSZ ISTVÁN (1928, 1969) MTA Anyag-szerkezeti és Anyagvizsgáló Mk.  
építészeti mechanika  
építőanyagok  
vasbetonszerkezetek
- HALÁSZ OTTÓ (1927, 1956) BME Acélszer-kezetek Tsz.  
építészeti mechanika  
fémszerkezetek
- HALÁSZ SÁNDOR (1934, 1968) BME Automat. Tsz.  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
automatika
- HALÁSZ TIBOR (1905, 1961)  
közlekedésgépészet  
közlekedésgazdaságtan
- HALÁSZ TIBOR (1924, 1954) Mátraaljai Szénbányászati Tröszt  
mélyépítés
- HAMAR KÁROLY (1932, 1963) MTA AKI  
papíripari gépek  
faipari gépek
- HANGOS ISTVÁN (1926, 1958) TÁKI  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök
- HASZPRA OTTÓ (1928, 1965) VITUKI  
hidraulika  
műszaki hidrológia
- HATVANY JÓZSEF (1926, 1970) MTA AKI  
ipari folyamatok automatizálása  
digitális számítógéptechika
- HAVAS JUDIT (1927, 1956) ÉGSZI  
építésszervezés  
építésgazdaságtan
- HÁZMÁN ISTVÁN (1933, 1967) BME Vezeték-nélküli Hír. Tsz.  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök
- HEGEDŰS ZOLTÁN (1925, 1964) Csepeli Fém-mű  
metallográfia
- HELM LÁSZLÓ (1931, 1968) MTA AKI  
automatika elmélet
- HENNYEY ZOLTÁN (1917, 1952) TÁKI  
elektronikus áramkörök  
elektronikus berendezések  
lineáris hálózatok  
átviteltechnika
- HERENDI MIKLÓS (1928, 1969) MIKI  
lineáris hálózatok
- HERZOG PÁL (1915, 1964) BME Áramlás-tani Tsz.  
áramlástechnikai gépek
- HILVERT ELEK (1895, 1966) MÉLYÉPTEKV  
építőanyagok  
épületszerkezetek
- HOLLÓ MÁRIA (1924, 1962) CSVM  
Anyagvizsg. I.  
fémfizika
- HORCOS GYULA (1920, 1953) KGM  
szerszámgépek
- HORN MIKLÓS (1924, 1961)  
geotechnika  
mélyépítés
- HORVÁTH FAUSTO (1927, 1970) VBKM Gyárt-mányfejl. Int.  
villamos készülékek  
villamos mérések  
nagyfeszültségű technika  
szigetelőtechnika
- HORVÁTH JÁNOS (1928, 1961) ÉTI  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
ipari elektronika  
villamos hajtások
- HORVÁTH KÁROLY (1928, 1961) BME Vasúti Járművek Tsz.  
dugattyús gőzgépek  
közlekedési gépek
- HORVÁTH LAJOSNÉ (1938, 1968) Ff Élelmi-szerip. Techn.  
szárítás
- HORVÁTH MÁTYÁS (1935, 1966) GTI  
forgácsolás és szerszámai
- HORVÁTH SÁNDOR (1905, 1960) VITUKI  
vízgazdálkodás  
vízépítési műtárgyak  
vízkészletgazdálkodás
- HORVÁTH TIBOR (1928, 1960) BME Villamos-művek Tsz.  
villamos mérések  
nagyfeszültségű technika  
szigetelőtechnika  
villamoskészülékek
- HUSZÁR ISTVÁN (1923, 1954) Ganz Villa-mossági Művek  
műszaki mechanika
- ILIÁSZ DIMITRISZ (1931, 1969) BME Gép-gyártástechn. Tsz.  
forgácsolás és szerszámai
- ILOSVAI LAJOS (1930, 1969) BME Gépjár-művek Tsz.  
közlekedési gépek
- IMRE LÁSZLÓ (1929, 1966) BME Géptan Tsz.  
szárítás
- IPOLYI KÁROLY (1903, 1959) POKI  
távbeszélőtechnika  
távírótechnika
- IRING REZSŐ (1926, 1963) Láng Gépgyár  
gázturbinák  
műszaki mechanika
- ISTVÁNFFY GYULA (1922, 1960) BME Villa-mosgépek Tsz.  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- IVICSICS LAJOS (1927, 1955) VITUKI  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízgazdálkodás
- IZSÁK MIKLÓS (1905, 1953) BME Vezeték-nélküli Híradástechn. Tsz.  
lineáris hálózatok  
átviteltechnika

- JANCSÓ ISTVÁN (1931, 1969) BME Vezeték-nélküli Híradástechnikai Tsz.  
elektronikus áramkörök  
elektronikus berendezések  
rendszertechnika  
hírközlésmélelet
- JÁRAY JENŐ (1903, 1957) MÉLYÉPTERV  
geotechnika  
mélyépítés
- JÁSZAY TAMÁS (1929, 1969) BME Hőenergetika Tsz.  
energiagazdálkodás  
gázturbinák  
hűtőgépek
- JEDERÁN MIKLÓS (1927, 1961) BME Textiltechnológiai Tsz.  
textilipari gépek  
textilipari technológia
- JEKELFALUSY GÁBOR (1916, 1961) Ganz Villamossági Művek  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- JUHÁSZ ÁDÁM (1930, 1966) ALUTERV  
színesfémkohászat  
könnyűfémek kohászata
- JUHÁSZ BERTALAN (1931, 1969) BME Vasbetonszerk. Tsz.  
építészeti mechanika  
építőanyagok  
vasbetonszerkezetek  
épületek tervezése
- JUHÁSZ JÓZSEF (1927, 1957) ovf Vízkészletgazd. Közp.  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízellátás  
hidrogeológia
- JUREK AURÉL (1904, 1952) BME Gépjárművek Tsz.  
belsőégésű motorok  
közlekedési gépek
- KAFFKA KÁROLY (1927, 1969) KÉKI  
folyamatműszerezés  
folyamat szabályozás  
ipari folyamatok automatizálása
- KAJÁN BÉLA (1925, 1962) UKI  
útépítés  
közúti forgalomtechnika  
közlekedési üzem
- KALÁSZI ISTVÁN (1924, 1966) BME Gépgyártástechn. Tsz.  
forgácsolás és szerszámai
- KALMÁR ISTVÁN (1925, 1962) BME Kalorikus Gépek Tsz.  
belsőégésű motorok  
közlekedési gépek
- KARA ANTAL (1924, 1966) VERTESZ  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika
- KARAI JÁNOS (1928, 1968) KE  
Géptan Tsz.  
mezőgazdasági gépek
- élelmiszeripari gépek
- KARÁDY GYÖRGY (1930, 1958) BME Villamosszművek Tsz.  
villamos erőművek  
villamos hálózatok
- KARDOS GYÖRGY (1919, 1969) Magyar Kábel Művek  
villamos hálózatok  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika
- KARSA BÉLA (1891, 1952)  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- KARSAI KÁROLY (1926, 1963) Ganz Villamossági Művek  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- KASSAI FERENC (1919, 1958) O. Földt. Kutató és Fúró V.  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízellátás  
csatornázás  
szennyvíztisztítás
- KATOR LAJOS (1932, 1962) BME Mechanikai Techn. Tsz.  
hőkezelés  
anyagvizsgálat  
porkohászat
- KAZINCZY LÁSZLÓ (1892, 1952)  
szerszámgepek  
gépgyártástechnológia
- KÁDAS KÁLMÁN (1908, 1961) BME Közlekedésgazd. Tsz.  
közlekedésgazdaságtan
- KÁLDOR MIHÁLY (1924, 1957) NME Metallográfiai Tsz.  
fémfizika  
metallográfia
- KÁLMÁN RÓBERT (1934, 1964) MTA AKI  
automatika elmélet  
analóg számítógéptechnika  
digitális számítógéptechnika
- KÁLMÁN SÁNDOR (1928, 1965) Collegium Hungaricum, Bécs  
öntészet
- KÁZMÉR TIBOR (1929, 1968) Felsőfokú Gép-járműközl. Technikum  
közlekedési gépek  
közlekedésgazdaságtan
- KECSKÉS SÁNDOR (1926, 1966) BME Vasútépítési Tsz.  
vasútépítés
- KELEMEN TIBOR (1926, 1963) BME Közlekedésvillamossági és Aut. Tsz.  
villamosgépek  
villamos mérések  
erősáramú elemek  
villamos hajtások
- KENDERESSY MIKLÓS (1934, 1967) TÁKI  
mikrohullámú mérések

- mikrohullámú műszerek  
KERESE ISTVÁN (1911, 1960) Bőrip. Kut. I. szerveskémi technológia  
KERESZTES SÁNDOR (1927, 1962) VEGYTERV vegyipari gépek  
KERÉNYI DÉNES (1927, 1965) Ganz Villamosági Művek nagyfeszültségű technika szigeteléstechika  
KERÉNYI ISTVÁN (1930, 1970) M. Selyemipari V. textiltechnológia  
KERKÁPOLY ENDRE (1925, 1964) BME Vasútépítési Tsz. vasútépítés közlekedési üzem  
KERTAI EDE (1917, 1960) OVF vízgazdálkodás vízépítési műtárgyak vízkészletgazdálkodás  
KÉPES JÁNOS (1931, 1970) Betonútépítő Váll. útépítés  
KILIÁN JÓZSEF (1925, 1963) BME Építőanyagok Tsz. építészeti mechanika építőanyagok vasbetonszerkezetek  
KIRÁLY BÉLA (1916, 1955) MÁV Vasútterv. Ü. V. építészeti mechanika fémszerkezetek  
KIRÁLY LÁSZLÓ (1925, 1959) AE Géptan Tsz. mezőgazdasági gépek  
KISS ALBERT (1929, 1963) Ff. Mg. Technikum, Nagykanizsa mezőgazdasági gépek  
KISS ERVIN (1923, 1952) NME Kohógéptani Tsz. képlékenyalakítás  
KISS ISTVÁN (1930, 1966) TÁKI átviteltechnika  
KISS LAJOS (1931, 1970) Ff. Építőip. Techn. építésszervezés építésgazdaságtan épületek tervezése  
KISS LAJOS (1933, 1970) NME Mechanika Tsz. műszaki mechanika  
KISS LÁSZLÓ (1926, 1970) Ganz Villamosági Művek villamosgépek villamos készülékek  
KISS RÓBERT (1925, 1967) OMFB fűtés szellőzés klimatizálás szárítás  
KOC SIS JÁNOS (1938, 1969) BME Automatizálási Tsz. rendszertechika folyamatszabályozás  
KOC SIS JÓZSEF (1920, 1955) KGM képlékenyalakítás  
KÓCZY LÁSZLÓ (1923, 1961) BME Textiltechnológiai Tsz. textilipari gépek textilipari technológia  
KODOLÁNYI GYULA (1911, 1960) ELEKTROIMPEX adóberendezések hullámterjedés antennák tápvonalak  
KOLOS VÁRY GÁBOR (1927, 1967) Faipari Minőségellenőrző I. faipari technológia  
KOMARIK JÓZSEF (1930, 1961) BME Vezetéknélk. Hír. Tsz. elektronikus áramkörök nemlineáris technika  
KOMÁNDI GYÖRGY (1924, 1967) AE Géptan Tsz. mezőgazdasági gépek  
KONCZ ISTVÁN (1899, 1952) VEIKI áramlástan tüzeléstechika  
KONCZ ISTVÁN (1907, 1953) elektroncsövek vákuumtechnika  
KONECSNY FERENC (1928, 1962) BME Aeroés Termotechn. Tsz. tüzeléstechika áramlástan  
KONKOLY TIBOR (1924, 1961) BME Mechanikai Techn. Tsz. metallográfia hőkezelés anyagvizsgálat hegesztés  
KORMÁNY TERÉZ (1930, 1969) TÁKI szilárdtestfizika anyagvizsgálat híradástechnikai alkatrészek félvezető eszközök  
KOROMPAY GYÖRGY (1905, 1965) VÁTI településtudomány városépítés  
KÓRODY ALBERT (1898, 1953) TÁKI híradástechnikai berendezések  
KOVÁCS LÁSZLÓ (1931, 1967) BME Vízgépek Tsz. áramlástechnikai gépek  
KOVÁCS SÁNDOR (1927, 1962) MKKI mérés tan  
KOVÁTS ZOLTÁN (1929, 1962) HTI műszaki mechanika  
KOZÁK IMRE (1930, 1961) NME Mechanika Tsz. műszaki mechanika  
KOZMANN GYÖRGY (1905, 1959) BME Műszaki Mechanika Tsz. műszaki mechanika  
KÖMÜVES FRIGYES (1906, 1959) félvezető eszközök kvantummechanikai eszközök

- elektronikus műszerek  
automatikai elemek  
KÖSZEGFALVI GYÖRGY (1932, 1966) ÉGSZI  
településtudomány  
városépítés  
KRAUSZ TIBOR (1932, 1970) MHD  
hőenergetika  
KUBINSZKY MIHÁLY (1927, 1960) EFE Épít.  
Tsz.  
épületek tervezése  
építészettörténet  
KUCZOGI ENDRE (1925, 1969) ÁEEF  
energiagazdálkodás  
villamosgépek  
villamos mérések  
félvezető technika  
KUNSZT GYÖRGY (1924, 1962) ÉTI  
építőanyagok  
KURUTZ IMRE (1925, 1967) BME Áramlás-  
tani Tsz.  
áramlástechnikai gépek  
KURUTZ KÁROLY (1930, 1968) BME Közle-  
kedésvill. és Aut. Tsz.  
hegesztés  
villamosgépek  
villamos mérések  
LAJTHA GYÖRGY (1930, 1963) POKI  
lineáris hálózatok  
átviteltechnika  
LAKOSI JÓZSEF (1928, 1961) Ganz Mávag  
belsőégésű motorok  
gázturbinák  
LÁNG LAJOS (1930, 1969) BME Kalorikus  
Gépek Tsz.  
energiagazdálkodás  
hűtőgépek  
klimatizálás  
LÁZÁR JÓZSEF (1926, 1964) BME Villamos-  
gépek Tsz.  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
LÁZÁR LÁSZLÓ (1922, 1968) Bpi. Bútor-  
ipari V.  
faipari technológia  
LEHR FERENC (1910, 1958) KM  
energiagazdálkodás  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás  
LENGYEL PÁL (1921, 1958) PKI  
papíripari technológia  
faipari technológia  
LENKEI PÉTER (1933, 1965) ÉTI  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
LETTNER FERENC (1914, 1952) BME Gép-  
gyártástechn. Tsz.  
gépgyártástechnológia  
szerszámgépek  
LÉCZFALVY SÁNDOR (1928, 1965) VIZITERV  
hidrogeológia  
vízellátás  
LÉNÁRD SÁNDOR (1894, 1952) ÁEEF  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
LÉVAI IMRE (1924, 1966) NME Gépelemek  
Tsz.  
gépelemek  
LIPTÁK LÁSZLÓ (1927, 1967) Petrolkémiai  
Beruh. Váll.  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
LITVAI ELEMÉR (1926, 1965) BME Áramlás-  
tani Tsz.  
áramlástechnikai gépek  
LOVÁSZ KÁLMÁN (1925, 1966) Nyomdaip.  
Tröszt Techn. Lab.  
papíripari technológia  
LUKÁCS JÓZSEF (1932, 1969) MIKI  
automatika  
MAGYAR JÓZSEF (1928, 1960) BME Gépele-  
mek Tsz.  
gépelemek  
szerszámgépek  
MARKÓ JÓZSEF (1933, 1966) Csepeli Acélmű  
hidegalakítás  
hőkezelés  
MATOLCSY MÁTYÁS (1938, 1970) AUTOKUT  
műszaki mechanika  
anyagvizsgálat  
MÁRKUS GYULA (1920, 1962) MÉLYÉPTEKV  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
MÁTÉ BÉLA (1935, 1967) VITUKI  
vízgazdálkodás  
vízépitési műtárgyak  
vízkeszletgazdálkodás  
MÁTÉ GYÖRGY (1931, 1970) BME Építő- és  
Anyagmozg. Gépek Tsz.  
épületgépészet  
MEDVEGYEV VLACZYIMIR (1932, 1965) TVM  
vegyipari gépek  
MEGYERI JENŐ (1931, 1965) BME Vasút-  
építési Tsz.  
vasútépítés  
MENYHÁRT JÓZSEF (1929, 1962) BME Épü-  
letgépészeti Tsz.  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás  
MERÉNYI GÁBOR (1905, 1963) BME Textil-  
technológiai Tsz.  
textilipari gépek  
textilipari technológia  
MÉHES GYÖRGY (1893, 1952)  
fémszerkezetek  
MICHELBERGER PÁL (1930, 1960) BME Mech.  
Tsz.  
műszaki mechanika  
közlekedési gépek  
MIKLÓS KÁROLY (1926, 1962) MSZH  
geotechnika  
melyépítés  
MISTÉTH ENDRE (1912, 1969) VIZITERV  
építészeti mechanika

- vasbetonszerkezetek  
fém szerkezetek  
mélyépítés
- MOCSENY JÓZSEF (1926, 1962) VKI  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
ipari elektronika  
villamos hajtások
- MOLNÁR IMRE (1930, 1969) Inotai Alumí-  
niumkohó  
könnyűfémek kohászata
- MOLNÁR ISTVÁN (1928, 1968) Ganz Villa-  
mosági Művek  
villamosgépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- MOLNÁR LAJOS (1922, 1960) ÉTI  
mélyépítés  
műszaki hidrológia  
vízellátás
- NAGY ENDRE (1905, 1962)  
mágnesező anyagok  
ferritek  
híradásipari technológia
- NAGY ÁLMOS (1924, 1970) MVM  
villamos erőművek  
villamos hálózatok
- NAGY GYULA (1927, 1967) TÁKI  
elektroncsövek  
elektronoptika
- NAGY ISTVÁN (1931, 1959) MTA AKI  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
automatika elmélet
- NAGY JÓZSEF (1923, 1964) VATUKI  
vasútépítés
- P. NAGY JÓZSEF (1926, 1962) ÉMI  
épületszerkezetek  
akusztika
- NAGY SÁNDOR (1935, 1966) Nagynyomású  
Kis. Int.  
ásványolajkémia  
ásványolaj technológia
- NAGY SÁNDOR (1921, 1964) Beton- és  
Vasbeton Ipari Művek  
építésszervezés  
építésgazdaságtan
- NÁDOR BÉLA (1928, 1960) Csepeli Fémmű  
mágnesező anyagok
- NÁNÁSI TIBOR (1931, 1970) KGM TÜKI  
tűzelés  
kohászati kemencék
- NÁNDORI GYULA (1927, 1960) NME Öntészeti  
Tsz.  
öntészet
- NEUGEBAUER JENŐ (1920, 1966) EIVRT  
fémfizika  
elektronoptika  
elektroncsövek
- NÉMETH FERENC (1930, 1961) BME Mech.  
Tsz.  
építészeti mechanika
- NÉMETH JENŐ (1929, 1955) MTA MKK  
vegyipari gépek
- NÉVERI ISTVÁN (1931, 1963) VKI  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- NYIRI ANDRÁS (1931, 1966) Ganz Mávag  
áramlástechnikai gépek
- OLÁH FERENC (1931, 1968) KGM TÜKI  
tűzelés technika
- OLÁH TIBOR (1931, 1969) TIPUSTERV  
építőanyagok  
épületszerkezetek
- OROSZ ÁRPÁD (1926, 1959) BME Vasbeton-  
szerkezetek Tsz.  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek
- ÖLLÖS GÉZA (1928, 1961) BME Vízgazdál-  
kodási Tsz.  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízellátás  
szennyvíztisztítás
- PACZOLAY GYULA (1930, 1961) VVE  
színesfémkohászat  
könnyűfémkohászat
- PAPP A. LÁSZLÓ (1926, 1955) KGST  
villamos erőművek  
villamos hálózatok
- PATAKY BALÁZS (1931, 1968) VASKUT  
fémfizika  
híradástechnikai alkatrészek  
mágnesező anyagok  
ferritek
- PATTANTYUS H. ENDRE (1924, 1968) VEIKI  
energiagazdálkodás  
hőerőművek
- PÁCZELT ISTVÁN (1939, 1970) NME Mecha-  
nika Tsz.  
műszaki mechanika
- PÁPAI LÁSZLÓ (1927, 1962) BME Vegyipari  
Géptan Tsz.  
áramlástechnikai gépek
- PÁRKÁNYI MIHÁLY (1924, 1965) BME  
Épületszerk. Tsz.  
épületszerkezetek
- PÁSZTOR ENDRE (1930, 1960) BME Aero-  
és Termotechnikai Tsz.  
belsőégésű motorok  
gázturbinák
- PÁSZTORNICZKY LAJOS (1925, 1961) BME  
Mikróhullámú Tsz.  
elektronikus áramkörök  
mikrohullámú berendezések  
impulzustechika
- PÁTI GYULA (1931, 1962) ÉTI  
geotechnika  
mélyépítés
- PÁVEL GYULA (1930, 1961) Dunaújvárosi  
Terv. I.



- építészeti mechanika  
PÁZMÁNDI LÁSZLÓ (1918, 1962) VEIKI  
villamos erőművek  
villamos hálózatok  
ipari elektronika  
villamos hajtások
- PECZNIK JÁNOS (1933, 1965) Dunai Vasmű  
hengerlés  
hidegalakítás
- PERCZEL KÁROLY (1915, 1962) VATI  
településtudomány  
városépítés
- PEREDY JÓZSEF (1930, 1969) ÉVM Számítás-  
techn. és Ügyvitelgép. V.  
építészeti mechanika  
szilárdságtan
- PERÉNYI KÁROLY (1926, 1970) Ff. Mező-  
gazdasági Techn.  
vízgazdálkodás
- PETES GYÖRGY (1927, 1962) MTA Ipar-  
gazdaságtani Kut. Csopt.  
ipargazdaságtan
- PETHE BÁLINT (1930, 1964) ÉGSZI  
építésszervezés  
építésgazdaságtan  
épületek tervezése  
településtudomány  
városépítés
- PETRASOVITS GÉZA (1928, 1963) BME Geo-  
technika Tsz.  
talajmechanika
- PETRIK OLIVÉR (1929, 1961) BME Finom-  
mechanika Optika Tsz.  
finommechanika  
mérés tan
- PILISSY LAJOS (1925, 1962) VASKUT  
színesfémkohászat  
öntészet
- PILLER GYÖRGY (1932, 1970) EIVRT  
híradástechn. alkatrészek
- PLATTHY PÁL (1929, 1968) BME Acélszer-  
kezetek Tsz.  
fémszerkezetek
- POHLINGER LÁSZLÓ (1897, 1952)  
gőzturbinák  
hőkezelés
- POKORÁDI ÁRPÁD (1931, 1967) SZIMFI  
műszaki mechanika  
szerszámgépek
- POMÁZI LAJOS (1934, 1965) BME Műszaki  
Mechanika Tsz.  
műszaki mechanika
- POROS TAMÁSNÉ (1915, 1959) Vegyipari  
Tröszt  
textilkémia
- POZSGAI VILMOS (1918, 1962) FÉMKUT  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök
- PREISICH GÁBOR (1909, 1961) BUVÁTI  
építésszervezés  
építésgazdaságtan  
épületek tervezése  
településtudomány
- városépítés
- PRESZLER LÁSZLÓ (1921, 1961) BME Áram-  
lástan Tsz.  
áramlástechnikai gépek
- PRISTYÁK ANDRÁS (1934, 1967) BME Építő-  
és Anyagmozgató Gépek Tsz.  
emelő- és szállító gépek
- RÁCZ ELEMÉR (1908, 1955) BME Aero- és  
Termotechn. Tsz.  
közlekedési gépek
- RÁCZ ISTVÁN (1922, 1959) BME Villamosgép-  
pek Tsz.  
automatika elmélet  
elektronika  
villamos hajtások
- RÁCZ LÁSZLÓ (1934, 1968) BME Villamos-  
művek Tsz.  
villamos erőművek  
villamos hálózatok
- RÁTH GYÖRGY (1929, 1970) Debreceni  
Építőip. Váll.  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás
- REISCHL ANTAL (1916, 1961) BME Lakó-  
épületek Tervezése Tsz.  
épületek tervezése
- REMÉNYI KÁROLY (1934, 1968) VEIKI  
áramlástan  
energiagazdálkodás
- REITER GYÖRGY (1930, 1965) TÁKI  
mikrohullámú alkatrészek  
mikrohullámú áramkörök
- REITTER GYULA (1922, 1961) BME Villamos-  
gépek Tsz.  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
ipari elektronika  
villamos hajtások
- RÉCZEY GUSZTÁV (1920, 1958) ÉVM Export  
Főváll. V.  
építésszervezés  
építésgazdaságtan
- RÉDL ENDRE (1906, 1952) OMFB  
elektroncsövek  
elektronoptika  
félvezető eszközök  
kvantummechanikai eszközök
- RÉGENT LÁSZLÓ (1919, 1956) Elektromos  
Művek  
digitális technika  
távbeszélő technika  
távírótechnika  
átviteltechnika
- RÉTHÁTI LÁSZLÓ (1925, 1959) Földmérő és  
Talajv. I.  
geotechnika  
mélyépítés  
hidromechanika  
műszaki hidrológia
- RÉTI PÁL (1911, 1955) CSVN Anyagvizsg. I.  
hőkezelés

- anyagvizsgálat  
 RÉVHELYI ELEMÉR (1889, 1958) BME  
 Építészettört. Tsz.  
 építészettörténet  
 ROLLER BÉLA (1929, 1966) BME Mech. Tsz.  
 építészeti mechanika  
 ROMÁN ANDRÁS (1929, 1969) O. Műemléki  
 Felügyelőség  
 építészettörténet  
 településtudomány  
 városépítés  
 ROMHÁNYI MIKLÓS (1921, 1964) BME Elekt-  
 roncsövek és Félv. Tsz.  
 elektroncsövek  
 elektronoptika  
 ROMVÁRI PÁL (1929, 1963) NME Mecha-  
 nikai Techn. Tsz.  
 hegesztés  
 RONKAY FERENC (1912, 1952) MVM  
 energiagazdálkodás  
 nagyfeszültségű technika  
 szigeteléstechika  
 RÓNA PÉTER (1931, 1970) TÁKI  
 mikrohullámú berendezések  
 RÓZSA LÁSZLÓ (1925, 1954) UVATERV  
 geotechnika  
 mélyépítés  
 RÓZSA MIHÁLY (1905, 1958) ÉTI  
 építészeti mechanika  
 RUDNAI GUIDÓ (1902, 1959) BME Vasúti  
 Géptan Tsz.  
 műszaki mechanika  
 közlekedési gépek  
 RUSZNYÁK ENDRE (1894, 1954)  
 villamos gépek  
 villamos készülékek  
 villamos mérések  
 SALAMIN PÁL (1913, 1952) BME Vízgazdál-  
 kodási Tsz.  
 hidromechanika  
 műszaki hidrológia  
 vízgazdálkodás  
 vízellátás  
 SÁLYI BÉLA (1926, 1967) BME  
 Mech. Tsz.  
 műszaki mechanika  
 IFJ. SÁLYI ISTVÁN (1924, 1955) NME Szál-  
 lítóberend. Tsz.  
 műszaki mechanika  
 SÁRKÁNY TAMÁS (1925, 1961) TÁKI  
 elektronikus áramkörök  
 mikrohullámú műszerek  
 SÁRKÖZY GÉZA (1903, 1952) OMFB  
 adóberendezések  
 SÁROSI LAJOS (1924, 1969) BME Vízépítési Tsz.  
 mélyépítés  
 építőanyagok  
 SCHANDA JÁNOS (1932, 1969) MŰFI  
 szilárdtestfizika  
 SCHMALZ JÓZSEF (1919, 1961) BME Textil-  
 technológiai Tsz.  
 textilipari technológia  
 SCHNELL LÁSZLÓ (1923, 1961) BME Műszer-  
 és Finommech. Tsz.  
 elektromechanikus műszerek  
 elektromechanikus készülékek  
 elektromechanikai mérések  
 SCHOEN ARNOLD (1887, 1961)  
 építészettörténet  
 SEBESTYÉN BÉLA (1921, 1966) MTA AKI  
 elektronikus műszerek  
 automatikai elemek  
 SEBESTYÉN GYULA (1932, 1965) BME Víz-  
 gépek Tsz.  
 áramlástan  
 áramlástechnikai gépek  
 SELMECZI VILMOS (1897, 1958)  
 villamos gépek  
 villamos készülékek  
 villamos mérések  
 ipari elektronika  
 villamos hajtások  
 SÉRA KÁROLY (1931, 1970) Orsz. Lég-  
 védelmi Par.  
 automatika elmélet  
 a kibernetika műszaki vonatkozásai  
 SILBERSDORFF LÁSZLÓ (1902, 1963)  
 műszaki mechanika  
 közlekedési gépek  
 SINAI LEÓ (1899, 1962) Danubia Szaba-  
 dalmi Iroda  
 villamos gépek  
 villamos készülékek  
 villamos mérések  
 SINGER DÉNES (1913, 1962) MTA AKI  
 ipari folyamatok automatizálása  
 SINKÓ JÓZSEF (1933, 1969) SZIMFI  
 szerszámgépek  
 SOLTÍ ERNŐ (1929, 1962) KERMI  
 mechanikus műszerek  
 pneumatikus műszerek  
 optikai műszerek  
 finommechanika  
 SÓS FRIGYES (1924, 1968) AGROTERTV  
 fűtés  
 szellőzés  
 klimatizálás  
 SOMLÓ JÁNOS (1935, 1968) MTA AKI  
 automatika elmélet  
 SÓVÁRY EMIL (1916, 1961) ERŐTERTV  
 energiagazdálkodás  
 hőerőművek  
 SÖVEGJÁRTÓ JÁNOS (1903, 1960)  
 szilikátok technológiája  
 STARASOLSZKY ÖDÖN (1931, 1967) VITUKI  
 hidromechanika  
 műszaki hidrológia  
 vízépítési műtárgyak  
 STEFÁN MIHÁLY (1932, 1962) Csepeli Fém-  
 mű  
 fémfizika  
 metallográfia  
 hidegalakítás  
 STELCZER KÁROLY (1922, 1967) VITUKI  
 műszaki hidrológia  
 hidromechanika

- STOKUM GYULA (1928, 1969) MTA MSZ  
 villamosgépek  
 villamos készülékek  
 villamos mérések
- STRIKER O. GYÖRGY (1913, 1952) MKKL  
 elektronikus műszerek  
 automatikai elemek  
 automatikai mérések
- SUGÁR GYÖRGY (1915, 1959) TKI  
 textilipari technológia
- SUGÁR GYÖRGYNÉ (1931, 1959) TKI  
 textilipari technológia
- SULCZ FERENC (1921, 1962) NME Automa-  
 tizálási Tsz.  
 kohászati kemencék  
 ipari folyamatok automatizálása
- SVÁB JÁNOS (1920, 1962) BME Emelőgépek  
 és Száll. Ber. Tsz.  
 emelő- és szállítógépek  
 gépelemek
- SZABOLCS GÁBOR (1928, 1963) ÁEEF  
 tüzeléstechnika  
 gőzturbinák
- SZABÓ BAKOS RÓBERT (1923, 1962) VKI  
 villamos gépek  
 villamos készülékek  
 villamos mérések
- SZABÓ BÉLA (1931, 1956) O. Tervhivatal  
 áramlástechnikai gépek
- SZABÓ DÉNES (1910, 1966) EFE Faipari  
 Géptan Tsz.  
 faipari gépek
- SZABÓ IMRE (1930, 1966) KM  
 textilipari gépek
- SZABÓ IMRE (1934, 1966) BME Géptan Tsz.  
 távmérés  
 távirányítás  
 ipari folyamatok automatizálása
- SZABÓ LÁSZLÓ (1923, 1955) EIVRT  
 elektroncsövek  
 híradásiipari technológia
- SZABÓ LÁSZLÓ (1924, 1958) BME Vízgazdál-  
 kodási Tsz.  
 hidromechanika  
 műszaki hidrológia  
 vízellátás
- SZABÓ ZOLTÁN (1925, 1962) KÉKI  
 vegyipari gépek  
 élelmiszerek kémiaja
- SZAKÁCS GYÖRGY (1924, 1961) VASKUT  
 gépgyártástechnológia
- SZALADNYA SÁNDOR (1926, 1964) NME Gép-  
 elemek Tsz.  
 szerszámgépek  
 gépelemek
- SZALAI JÁNOS (1920, 1963) BME Vasbeton-  
 szerkezetek Tsz.  
 építészeti mechanika  
 vasbetonszerkezetek
- SZALAI KÁLMÁN (1930, 1961) BME Vasbeton-  
 szerk. Tsz.  
 építészeti mechanika  
 vasbetonszerkezetek
- SZALAY JÓZSEF (1898, 1963) VEIKI  
 ipari folyamatok automatizálása
- SZALAI PÁL (1935, 1969) EMV  
 hullámterjedés  
 antennák  
 tápvezetők
- SZALKÁY FERENC (1908, 1953)  
 mechanikai műszerek  
 pneumatikus műszerek  
 optikai műszerek  
 finommechanika
- SZAMOSVÖLGYI OTTÓ (1931, 1969) BME Gép-  
 elemek Tsz.  
 közlekedési gépek
- SZÁDAY REZSŐ (1913, 1965) Láng Gépgyár  
 hőerőművek  
 gőzturbinák
- SZÁNTÓ EMIL (1903, 1966) Ff. Gépjármű-közl.  
 Techn.  
 közlekedési üzem  
 közlekedésgazdaságtan
- SZEDER OTTÓ (1924, 1969) TKI  
 textilipari gépek  
 textilipari technológia
- SZEGHEGYI ÁRPÁD (1929, 1957) Dunai Vas-  
 mű  
 hengerlés
- SZEKÉR GYULA (1925, 1953) NIM  
 könnyűfémek kohászata
- SZENTGYÖRGYI SÁNDOR (1924, 1962) BME  
 Vegyipari Gépek Tsz.  
 áramlástan  
 vegyipari gépek
- SZENTMÁRTONYI TIBOR (1926, 1963) BME  
 Áramlástan Tsz.  
 áramlástan
- SZEPESI ENDRE (1906, 1952) EGI  
 villamos erőművek  
 villamos hálózatok  
 villamos gépek  
 villamos készülékek  
 villamos mérések  
 nagyfeszültségű technika  
 szigetelési technika
- SZÉCHEY BÉLA (1933, 1967) MÁV Távköz-  
 lési és Biztosítób. K.  
 akusztika
- SZÉKELY ÁDÁM (1923, 1961) SZKKT  
 építőanyagok
- SZÉKELY-DOBY SÁNDOR (1929, 1965) UVA-  
 TERY  
 távbeszélő technika  
 táviró technika  
 elektronikus elemek
- SZÉLL LÁSZLÓ (1903, 1962) BME Építés-  
 kivitelezési Tsz.  
 épületszerkezetek
- SZÉP IVÁN (1922, 1965) HIKI  
 félvezető eszközök  
 kvantummechanikai eszközök
- SZIDAROVSKY JÁNOS (1913, 1966) UVATERV  
 építészeti mechanika  
 fémszerkezetek

- SZIGYÁRTÓ ZOLTÁN (1926, 1957) VITUKI  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízgazdálkodás
- SZIKLAVÁRI JÁNOS (1921, 1968) LKM  
acélgyártás  
a kohászat története
- SZILÁGYI MIKLÓS (1936, 1965) BME Elm.  
Villamosságt. Tsz.  
elektroncsövek  
elektronoptika
- SZILVÁGYI IMRE (1920, 1963) ÉVM Földmérő  
és Talajv. V.  
geotechnika  
mélyépítés
- SZOMBATHY EMIL (1928, 1957) BME Hír-  
adás- és Műszerip. Tsz.  
mérés tan  
forgácsolás
- SZÜCS ERVIN (1930, 1965) ÉTI  
tűzeléstechnika  
hasonlóságelmélet
- SZÜCS PÁL (1931, 1961) MÜFI  
fémfizika  
metallográfia  
könnyűfémek kohászata
- TAJNAFŐI JÓZSEF (1930, 1966) NME Szer-  
számgepek Tsz.  
szerszámgepek  
gépgyártástechnológia
- TAKÁCS LAJOS (1911, 1970) BME Építő-  
és Anyagmozgató Gépek Tsz.  
emelő- és szállítógépek
- TAKSONY GYÖRGY (1922, 1963) VÁTI  
energiagazdálkodás
- TAR JÁNOS (1931, 1967) Csepeli Acélmű  
acélgyártás
- TARDOS LÁSZLÓNÉ (1926, 1968) TÁKI  
mágneses anyagok  
ferritek
- TARNAY KÁLMÁN (1929, 1967) BME Elektron-  
csövek és Félvez. Tsz.  
elektronfizika  
impulzustechnika
- TASSI GÉZA (1925, 1957) BME Vasbeton-  
szerk. Tsz.  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek
- TEVÁN GYÖRGY (1927, 1966) NME Elektro-  
techn. Tsz.  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések
- TYCZINSZKY ZSIGMOND (1911, 1953) MIKI  
elektronikus műszerek  
automatikai elemek
- TILAJKA SÁNDOR (1932, 1968) M. N. Ruhá-  
zat és Felsz. Fej. O.  
textilipari gépek  
textilipari technológia
- TÓBIÁS LORÁND (1913, 1962) LAKÓTERV  
építőanyagok
- TOMASCHEK ZOLTÁN (1896, 1959) HIKI  
általános vákuumtechnika
- TÓTH ENDRE (1930, 1968) BME Műszer és  
Finommech. Tsz.  
elektromechanikus műszerek  
elektromechanikus készülékek  
elektromechanikai mérések
- TÓTH FERENC (1927, 1969) ÉMI  
építőanyagipari gépek
- TÓTH JÁNOS (1934, 1967) VASKUT  
hőkezelés  
hengerlés
- TÓTH JÁNOS (1899, 1962)  
építészettörténet
- TÓTH LAJOS (1928, 1962) BME Techn. és  
Járműjav. Tsz.  
könnyűfémek kohászata  
hidegalakítás
- TÓTH LAJOS (1937, 1970) NME Kohógép-  
tani Tsz.  
kovácsolás  
sajtolás
- TÖMÖRY TIBOR (1929, 1970) ÉTI  
fűtés  
szellőzés  
klimatizálás
- TRAUTMANN REZSŐ (1907, 1959)  
építészeti mechanika  
építésszervezés  
építésgazdaságtan
- TREER MÓR FERENC (1896, 1953)  
mezőgazdasági gépek
- TURI ALADÁR (1931, 1961) MSZH  
hegesztés  
metallográfia  
hőkezelés
- TURI ZOLTÁN (1928, 1966) BME Finom-  
mech. Optika Tsz.  
mérés tan  
finommechanika
- UBELL KÁROLY (1922, 1958) VITUKI  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
vízgazdálkodás  
vízellátás
- UJHELYI JÁNOS (1925, 1968) ÉTI  
építőanyagok  
vasbetonszerkezetek
- UJVÁRI ISTVÁN (1917, 1956) Vasúti Pálya-  
fenntartási Techn.  
vasútépítés
- ULBRICH SÁNDOR (1924, 1953) SZIMFI  
szerszámgepek
- UNYI BÉLA (1911, 1959) KPM I. Vasúti Főo.  
vasútépítés
- VADÁSZ ELEMÉR (1921, 1961) Gyöngyösi  
Hőerőmű  
energiagazdálkodás  
hőerőművek
- VAJDA FERENC (1934, 1969) MTA KFKI  
digitális technika  
analóg számítógéptechnika  
digitális számítógéptechnika
- VAJNA ZOLTÁN (1928, 1956) BME Áramlás-

- tani Tsz.  
áramlástan  
VARGA FERENC (1920, 1956) VASKUT  
öntészet  
VARGA IMRE (1930, 1959) ÉGSZI  
épületszerkezetek  
építésszervezés  
építésgazdaságtan  
VARGA JÓZSEF (1934, 1969) UVATERV  
építészeti mechanika  
fém szerkezetek  
VARGA LÁSZLÓ (1933, 1966) BME Vegyip.  
Gépek Tsz.  
vegyipari gépek  
VARGA LÁSZLÓ (1927, 1964) BME Geotechnikai Tsz.  
geotechnika  
mélyépítés  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
VARGA RAFAEL (1905, 1966) MKKL  
elektromechanikus műszerek  
elektromechanikus készülékek  
elektromechanikai mérések  
VASS GYÖRGY (1929, 1961) TKI  
textilipari technológia  
VASVÁRI FERENC (1904, 1962)  
metallográfia  
hőkezelés  
anyagvizsgálat  
VÁ CZ ISTVÁN (1908, 1961) MÜFI  
általános vákuumtechnika  
VÁ GÁS ISTVÁN (1930, 1966) ATIVIZIG  
hidromechanika  
műszaki hidrológia  
VÁ GÓ ARTHUR (1896, 1952)  
távbeszélőtechnika  
távírótechnika  
VÁ GÓ ISTVÁN (1924, 1965) BME Elm. Villamos-  
ságtan Tsz.  
nagyfeszültségű technika  
szigeteléstechika  
VÁ MBÉ RI LŐRINCZ (1911, 1964) EIVRT  
elektroncsövek  
elektronoptika  
VÁ MOS GYÖRGY (1912, 1956) PKI  
papíripari gépek  
faipari gépek  
VERBA ÁTTILA (1927, 1961) BME Vegyipari  
Géptan Tsz.  
áramlástan  
VERES IMRE (1925, 1956) AE Elektron-  
mikr. Lab.  
fémfizika  
metallográfia  
VERESKŐ I JÁNOS (1920, 1968) NME Önté-  
szeti Tsz.  
öntészet  
VÉ KÁ SSY ALAJOS (1908, 1962) BME Textil-  
technológiai Tsz.  
textilipari gépek  
textilipari technológia  
VÉ RTES GYÖRGY (1928, 1968) BME Mech.  
Tsz.  
építészeti mechanika  
vasbetonszerkezetek  
VIDA MIKLÓS (1927, 1970) Fővárosi Gáz-  
művek  
energiagazdálkodás  
VIDOR FERENC (1924, 1966) VÁ TI  
településtudomány  
városépítés  
VIRÁ G LAJOS (1938, 1966) BME Folyamat-  
szabályozási Tsz.  
digitális számítógéptechnika  
rendszertechnika  
VISSY LÁSZLÓ (1919, 1962) VASKUT  
kohászati kemencék  
VITÁ LYOS LÁSZLÓ (1928, 1956) VKI  
villamos gépek  
villamos készülékek  
villamos mérések  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
VÖ RÖ S ÁRPÁ D (1935, 1970) Csepel Vas- és  
Acélöntödék  
vaskohászat  
öntészet  
VÖ RÖ S ÁRPÁ DNÉ (1935, 1968) VASKUT  
öntészet  
VÖ RÖ S IMRE (1903, 1952) BME Gépelemek  
Tsz.  
gépelemek  
szerszámgépek  
VÖ RÖ S KÁ ROLY (1926, 1962) MTA AKI  
digitális technika  
villamos gépek  
ipari elektronika  
villamos hajtások  
WEICHINGER KÁ ROLY (1893, 1952) BME  
Középületterv. Tsz.  
épületek tervezése  
WEISZ TAMÁS (1933, 1970) ORION- Rádió és  
Vill. V.  
mikrohullámú berendezések  
WELESZ RUDOLF (1918, 1959) BME Villa-  
mosip. Anyagtechn. Tsz.  
porkohászat  
WINKLER OSZKÁ R (1907, 1963) EFE Épít.  
Tsz.  
épületek tervezése  
településtudomány  
városépítés  
WINKLER PÉTER (1930, 1965) KPM I.  
Vasúti Főo.  
közlekedési üzem  
ZÁ DOR MIHÁ LY (1929, 1962) BME Építész-  
tört. Tsz.  
építészettörténet  
ZÁ MBÓ JÁNOS (1932, 1957) FÉ MKUT  
színesfémkohászat  
könnyűfémek kohászata  
ZETTNER TAMÁS (1926, 1958) MVM  
hőerőművek  
atomerőművek  
tűzeléstechika



gőzturbinák  
ZIEGLER KÁROLY (1927, 1961) VIZITERV  
áramlástechnikai gépek  
ZINCZ BÉLA (1901, 1962) OKISZ Műanyag  
Labor.  
műanyagkémia

műanyag technológia  
ZORKÓCZY BÉLA (1898, 1952)  
hőkezelés  
anyagvizsgálat  
metallográfia  
hegesztés

### F) A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSAI

BÉNYEI ANDRÁS (1929, 1960) BME Útépítési Tsz.  
útépítés  
közúti forgalomtechnika  
BOROTVÁS ELEMÉR (1931, 1962) BME Közlekedésg. Tsz.  
közlekedésgazdaságtan  
DÉRI TIBOR (1917, 1964) Anyagmozgatási és Csomagolási I.  
közlekedési üzem  
HEGEDÜS GYULA (1920, 1963) MM  
közlekedésgazdaságtan  
HUNKÁR DÉNES (1922, 1966) MASPED  
közlekedési üzem  
KESZLER GYULA (1908, 1970) BME Techn. és Járműjavítási Tsz.  
metallográfia  
javítástechnika  
KOLLER SÁNDOR (1927, 1968) BME Útépítési Tsz.  
útépítés  
közúti forgalomtechnika  
KOVÁCS LÁSZLÓ (1919, 1965) O. Idegenforg. Hivatal  
közlekedési üzem  
LENGYEL LÁSZLÓ (1926, 1968) VATUKI

vasútépítés  
NAGY JÓZSEF (1930, 1966) KPM I. Vasúti Főoszt.  
közlekedésgazdaságtan  
OROSZ JÓZSEF (1925, 1962) BME Közlekedésüzemi Tsz.  
közlekedési üzem  
közlekedésgazdaságtan  
PAPP ENDRE (1913, 1959) KPM  
közlekedésgazdaságtan  
SZABÓ DEZSŐ (1912, 1959) MÉLYÉPTERV  
közúti forgalomtechnika  
városépítés  
SZALONTAY VALÉR (1908, 1969) UVATERV  
közlekedési üzem  
VARGA SÁNDOR (1925, 1965) BME Közlekedésgazd. Tsz.  
közlekedésgazdaságtan  
VILMOS ENDRE (1932, 1967) MALÉV  
közlekedési üzem  
közlekedésgazdaságtan  
WESTSIK GYÖRGY (1931, 1969) MTA Közlekedéstud. Munkaköz.  
közlekedési üzem  
ügyvitelautomatizálás  
információ feldolgozás

### A SZÖVEGBEN HASZNÁLT RÖVIDÍTÉSEK

|          |   |
|----------|---|
| AGROTERV | Mezőgazdasági Tervező V.                                    |
| AE       | Agrártudományi Egyetem, Gödöllő                             |
| ALUTERV  | Alumíniumipari Tervező Intézet                              |
| ATIVIZIG | Alföldi és Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság                   |
| AUTOKUT  | Autóipari Kutató Intézet                                    |
| ÁEEF     | Állami Energetikai- és Energiabiztonságtechnikai Felügyelet |
| BHG      | Beloianisz Híradástechnikai Gyár                            |
| BME      | Budapesti Műszaki Egyetem                                   |
| BUVÁTI   | Budapesti Városépítési Tervező V.                           |
| BVK      | Borsodmegyei Vegyi Kombinát, Kazincbarcika                  |
| CSVN     | Csepel Vas- és Féművek                                      |
| EFE      | Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron                        |
| EIVRT    | Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt.                      |
| EMV      | Elektromechanikai Vállalat                                  |
| ERŐTERV  | Erőmű- és Hálózattervező V.                                 |
| ÉGSZI    | Építésgazdasági és Szervezési Intézet                       |
| ÉVM      | Építésügyi- és Városfejlesztési Minisztérium                |
| ÉTI      | Építéstudományi Intézet                                     |
| FÉMKUT   | Fémipari Kutató Intézet                                     |
| FF       | Felsőfokú   |
| FKI      | Faipari Kutató Intézet                                      |
| GTI      | Gépipari Technológiai Intézet                               |

|           |  |
|-----------|--|
| HTI       | Haditechnikai Intézet                            |
| KE        | Kertészeti és Szőlészeti Egyetem                 |
| KERMI     | Kereskedelmi Minőségellenőrző Intézet            |
| KÉKI      | Központi Élelmiszeripari Kutató Intézet          |
| KGM       | Kohó- és Gépipari Minisztérium                   |
| KGMTI     | Kohó- és Gépipari Minisztérium Tervező Irodái    |
| KM        | Könnyűipari Minisztérium                         |
| LAKÓTERV  | Lakó- és Kommunális Épületeket Tervező V.        |
| MALÉV     | Magyar Légiközlekedési V.                        |
| MÉM       | Mezőgazdasági- és Élelmészügyi Minisztérium      |
| MÉV       | Mecseki Ércbányászati Vállalat                   |
| MG        | Mezőgazdasági                                    |
| MHD       | Magyar Hajó- és Darugár                          |
| MIKI      | Műszeripari Kutató Intézet                       |
| MK        | Munkaközösség                                    |
| MKK       | Műszaki Kémiai Kutató Intézet                    |
| MKKI      | Méréstechnikai Központi Kutató Intézet           |
| MKKL      | Méréstechnikai Központi Kutató Laboratórium      |
| MM        | Művelődésügyi Minisztérium                       |
| MMG       | Mechanikai Mérőműszerek Gyára                    |
| MSZ       | Műszerügyi Szolgálat                             |
| MSZH      | Magyar Szabványügyi Hivatal                      |
| MTA       | Magyar Tudományos Akadémia                       |
| MVM       | Magyar Villamos Művek                            |
| NIM       | Nehézipari Minisztérium                          |
| NME       | Nehézipari Műszaki Egyetem                       |
| OEH       | Országos Energiagazdálkodási Hatóság             |
| OKÜ       | Ózdi Kohászati Üzemek                            |
| OMFB      | Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság           |
| OMK       | Országos Műszaki Könyvtár                        |
| PKI       | Papíripari Kutató Intézet                        |
| POKI      | Posta Kísérleti Intézet                          |
| SZIM      | Szerszámgép Ipari Művek                          |
| SZIMFI    | Szerszámgép Ipari Művek Fejlesztő Intézet        |
| SZKKT     | Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet |
| TÁKI      | Távközlési Kutató Intézet                        |
| TIPUSTERV | Típustervező Intézet                             |
| TKI       | Textilipari Kutató Intézet                       |
| TÜKI      | Tűzeléstechnikai Kutató Intézet                  |
| TVM       | Tiszamenti Vegyi Művek, Szolnok                  |
| UKI       | Útgyi Kutató Intézet                             |
| UVATERV   | Út- és Vasúttervező V.                           |
| VASKUT    | Vasipari Kutató Intézet                          |
| VATUKI    | Vasúti Tudományos Kutató Intézet                 |
| VÁTI      | Városépítési Tervező V., ÉVM                     |
| VBKM      | Villamos Berendezés és Készülék Művek            |
| VEGYTERV  | Vegyiműveket Tervező V.                          |
| VILATI    | Villamos Automatikai Intézet                     |
| VVE       | Veszprémi Vegyipari Egyetem                      |

## KÖNYVSZEMLE

*Beles, A. A.—Soare, M.:*

### CALCULUL PLACILOR CURBE SUBTIRI. (Héjszerkezetek számítása)

FORMULE, ABACE, TABELE, EXEMPLE DE CALCUL

Editura Technica, București 1969, 604 o., 220 ábra, 170 táblázat

A neves szerzők könyve újszerű kísérlet a nemzetközi héjirodalom eredményeinek összefoglalására, oly képlet és táblázatgyűjtemény formájában, melyeket a gyakorló mérnök tervező munkája során közvetlenül használni tud. Szerzőknek ez a törekvése annál is inkább közhasznú, mert a héjszerkezetekre vonatkozó elméleti tanulmányok rendszerint nem dolgozzák fel a tárgyalta feladatot oly részletességgel, hogy a közölt megoldások a gyakorlatban közvetlenül értékesíthetők lennének.

Maga a könyv hat fejezetre oszlik. Az első fejezet a héjelmélet alapjait foglalja össze. A második fejezet a membránhéjak elméletével foglalkozik. Itt a szimmetrikusan és antiszimmetrikusan terhelt forgás-kupolákon kívül tárgyalásra kerülnek az egyenlőoldali és egyenlőszárú háromszögalaprajzú, a rombusz alaprajzú, ellipszis alaprajzú héjak, a négyzet és derékszögű négyszögalaprajzú héjak, valamint a konoidhéjak. A harmadik fejezet a membrán-szerű feszültségi állapotban levő héjak alakváltozásával, a negyedik fejezet a héjak hajlítás-elméletével foglalkozik. Itt a kúp és gömbhéjak, a négyszögalaprajzú gömb- és forgáspároloidhéjak, a torznégyszöghéjak, nyereg- és hengerhéjak alakváltozási kérdései kerülnek tárgyalásra. Az ötödik fejezet a feszített héjakkal, a hatodik fejezet pedig a héjakra jutó különféle fizikai behatásokkal (hő, zsugorodás, kúszás), valamint a kihajlás kérdéseivel foglalkozik.

Ámbár a könyv román nyelven íródott, értékes képletgyűjteménye és áttekinthető táblázatai révén azok számára is igen hasznos gyakorlati segédesszközül szolgálhat, akik, ha a román nyelvet nem is bírják, de a rokon nyelvekben némiképp jártasak.

A könyvet értékes — 162 bibliográfiai adatot tartalmazó — irodalmi jegyzék egészíti ki.

*Dr. Csonka Pál*

### BETON-KALENDER 1970

TASCHENBUCH FÜR BETON- UND STAHLBETONBAU UND DIE VERWANDTEN FÄCHER

Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin—München—Düsseldorf 1970; I. Teil: 1180 Seiten, II. Teil: 676 Seiten

A *Beton-Kalender*, e világszerte ismert kézikönyv, immár 59. kiadásban áll a beton és vasbeton szakma művelőinek rendelkezésére. E kézikönyv, miként évek óta, ezúttal is két részben (két kötetként) látott napvilágot.

Az első rész csak lényegtelenül tér el az 1969 évi kiadástól. Főbb fejezetei ezúttal is: matematikai táblázatok, geometria, az építési acél, az építőfa, táblázatok négy és háromoldalt megtámasztott négyszöglemezek méretezésére, szilárdságtan, rúdszerkezetek statikája, vasbeton szerkezetek méretezése, feszített szerkezetek méretszámítása, méretezési szabályzatok. Új cikkelyek foglalkoznak egyes szerkezeti elemekkel, a négy és háromoldalt felfekvő lemezek vasalásával, az elektronikus számítógépeknek statikai alkalmazásával. Teljes átdolgozást nyert az alapoziási kérdésekkel foglalkozó cikkely.

A második rész a betonnal, valamint a beton és vasbeton anyagának vizsgálatával foglalkozó fejezetektől eltekintve teljes új anyagot tartalmaz. Az új fejezetek közül megemlítendő a csőállványokkal, a szilárd anyagú födémekkel, továbbá a faszerkezetekkel foglalkozó fejezetek, valamint az építéskivitelezés kérdéseivel foglalkozó fejezet. Itt az organizációs kérdések mellett a betontechnológia, az építésvezetés, a szerelési technika és betonszilárdítás problémái kerülnek tárgyalásra különös tekintettel az építőgépekre és felszerelésekre, valamint a zsaluzás és állványozás célszerű módszereire.

Az új fejezetek közül külön is ki kell emelni a Prof. H. RÜSCH és Prof. H. KUPPER által szerkesztett fejezetet, amely a feszítés technológiájának és alkalmazásának időszzerű kérdéseiről ad igen szemléletes, áttekinthető képet. E fejezet keretében igen sikerültek a feszítés által elérhető előnyöket (a húzófeszültségek kiküszöbölése, keresztmetszeti méretek csökkenése, repedés képződés kiküszöbölése, feszültségi állapot tervszerű befolyásolása stb.) ismertető cikkelyek, továbbá azok a részek, melyek azon új építési eljárásokról számolnak be, melyek a feszítés révén váltak lehetségessé (előgyártott elemeknek összefeszítéssel való összekapcsolása, szabad szerelési módok, építmények utólagos megerősítése stb.). Igen szerencsés e kötet függeléke is, mely a CEB (Európai Beton Bizottság) ajánlásainak bő kivonatát tartalmazza kitűnő német fordításban. Ez a jövőbeli szabályzatok készítésekor irányt mutató, az egységesítést célzó mű, mely a keleti és nyugati, valamint tengerentúli országok legjobb szakértőinek közreműködésével készül, valóban megérdemli, hogy a vasbetonépítéssel foglalkozó minden szakember rendelkezésére álljon.

Általában elmondható, hogy a *Beton-Kalender* legújabb kiadása, miként az előzőek is, valóban az élő gyakorlat számára íródott, mely a vasbetonépítés elméletének legújabb megállapításaira és szabályzati előírásaira támaszkodik, s áttekinthető csoportosításban tárgyalja a vasbetonépítés időszzerű kérdéseit.

Nem kétséges, hogy ez a kiadás, mely neves szerkesztőjének, Gotthard FRANZ professzor fáradhatatlan közreműködésével látott napvilágot, a vasbeton szakma művelői részéről szíves fogadtatásra fog találni.

Dr. Csonka Pál

Farkas, T.:

## CORROSION WEEK

Akadémiai Kiadó, Budapest 1970, 1084 o.

A korrózió és a korrózió elleni védekezés egyik sarkalatos problémája a legkülönbözőbb iparágaknál. A kérdés gazdasági vonatkozásait ismerve nem csodálható, hogy a probléma megoldásán milyen sok kutató fáradozott, de a témakör a jelentős részeredmények ellenére sincs ma még lezárva. Egyre-másra jelennek meg a korrózió jelenségét vizsgáló, elméleti munkák, melyek a lejátszódó fizikai folyamatok jobb megértését célozzák, valamint az egyre újabb módszerek és lehetőségek a korrózió elleni védekezésre.

Ennek a világszerte folyó, kiterjedt munkának igen jó keresztmetszetét adja az 1968 októberében Budapesten megrendezett 41st Manifestation of the European Federation of Corrosion előadásait tartalmazó Corrosion Week.

A kötet több mint 1000 szakember és tudós előtt elhangzott valamennyi előadás teljes szövegét tartalmazza, a szerző választása szerinti angol, német vagy francia nyelven. A 128 előadás nagyobb része, 85 előadás angol nyelvű, 35 dolgozat német nyelvű és 8 dolgozat készült francia nyelven. Igen örömdetes, hogy a nemzetközi szervezet tanácskozására elfogadott dolgozatoknak kb. felét, 63 db-t magyar szerzők nyújtottak be. A külföldi szerzők között Európában valamennyi ipari nagyhatalmának képviselőit megtalálhatjuk. Számszerűen a legtöbb dolgozatot a N. Sz. K.-ból nyújtották be (16 db), utána következik a Szovjetunió 11 előadással.

A kötetben levő dolgozatok ugyanolyan csoportosításban és sorrendben következnek, ahogy azok a tanácskozás során elhangzottak. Eszerint néhány, bevezetőnek szánt dolgozat után öt szekciót találunk, az alábbi megoszlás szerint.

1. Szekció: 18 előadást tartalmaz, mely elektrolitikus úton készült fémes bevonatok tulajdonságaival, készítési módszereivel, valamint az ilyen eljárásoknál alkalmazott inhibitorok szerepével foglalkozik.

2. Szekció: 9 előadást tartalmaz a tűzi úton vagy azzal rokonjellegű, hőhatás segítségével készített bevonat-készítési módszerekről és ezek tulajdonságairól. Ide soroltak néhány, zománc bevonattal foglalkozó dolgozatot is.

3. Szekció: Itt 36 előadás található, melyek főleg a nemfémes bevonatokkal történő korrózióvédelem problémáit tárgyalják. Ezekhez tartoznak tehát a műanyag-bevonatok, rozsdásodást gátló festékek, lakkozások. A dolgozatok egy része új védőanyagokat vagy új bevonat készítő eljárásokat ismertet, más részük a minőség ellenőrzés kérdéseivel foglalkozik.

4. Szekció: E csoportba 17 előadás tartozik. Ezek az inhibitorok szerepét tárgyalják a korróziós folyamatoknál, illetve a korrózió elleni védekezésnél. Foglalkoznak az olajok és zsírok, azaz szerves anyagok felhasználásának lehetőségeivel a korrózió védelemnél.

5. Szekció: Az utolsó csoportba azt a 44 előadást sorolták, mely a korrózió tárgykörébe tartozó egyéb kérdésekkel foglalkozik. Itt található tehát a korrózió kinetikáját tárgyaló elméleti előadások, a korrózióvizsgálat szerteágazó problémáit ismertető dolgozatok. Néhány dolgozat a korrózióval rokon jelenségekkel — az erózióval és a kavitációval való kapcsolatokat és különbségeket tárja fel. Mások a korrózió és az ellene való védekezés gazdasági kihatásait vizsgálják.

A kötetben megjelent előadások nagy száma mellett — és annak ellenére — a dolgozatok színvonalasak és a világszerte nagy érdeklődésre igényt tartó kérdésekkel foglalkoznak. A mű kiállítása a tartalomhoz illően példás, mind a szöveges rész, mind az ábrák tekintetében.

Szerkesztői szempontból kifogásolható, hogy a kötetben az egyes előadások elhelyezése kevésbé áttekinthető. Szerencsésebb lett volna azokat a szerzők nevei szerint betűrendbe sorolni, vagy legalább a kötetet egy betűrendes tartalomjegyzékkel kiegészíteni. A jelenlegi tárgykör szerinti csoportosítás esetében megkönnyítette volna a tájékozódást, ha a szekciókba való sorolás szempontjait alcímekként megadták volna.

Az említett hibák ellenére a Corrosion Week a magyar műszaki könyvkiadás egyik kiemelkedő alkotása.

*Dr. Czoboly Ernő*

*Falk, S.:*

# LEHRBUCH DER TECHNISCHEN MECHANIK, BD. II.

Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York 1968, 307 oldal.

A több kötetre tervezett tankönyv első kötetét lapunk 41. kötetének 156. oldalán ismertettük. Az azóta megjelent második kötet a merev testek mechanikájából azt az anyagot tartalmazza, amely a műegyetemek gépész és építő mérnöki osztályain ma már világszerte meglehetősen egységesen kialakult. Tehát a merev testek statikáját, kinematikáját és kinetikáját öleli fel, még pedig — a jobb érthetőség érdekében — először csak a síklapokra, azután a háromdimenziós merev testekre. A számos jól megírt fejezet közül kiemeljük azokat, amelyekben a metszeti erők fogalma van szemléltetve megfelelő magyarázó ábrák kíséretében. Didaktikailag igen sikerültnek mindazok a fejezetek, amelyekben a pörgettyű elmélete kerül bemutatásra. Ezt a „Tankönyv” címet viselő művet a kezdők helyenként csak akkor használhatják sikerrel, ha az anyagot az előadások hallgatásából vagy egyéb helyről többé-kevésbé már megértették. Ilyenek például 190. oldal (4) egyenlete, a 16,4 és 24,4 szakaszokban említett szintetikus és analitikus módszerek felhasználhatósága, a 134. oldal 11. sorában említett hatástalanság. Mindezek a szakaszok azonban jó vezérfonal gyanánt szolgálhatnak a tanszéki oktató személyzet számára. A könyvnek mintegy felét a gondosan kiválasztott és részletesen megoldott példák gyűjteménye alkotja. Ez a példagyűjtemény tekinthető a könyv főértékének mind didaktikai szempontból, mind a sokféle gyakorlati alkalmazás szempontjából.

*Dr. Barta József*



*Falk, S.:*

LEHRBUCH DER TECHNISCHEN MECHANIK, BD. III.

Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York 1969, 321 oldal.

Ez a kötet a rugalmasságtan azon fejezeteit tartalmazza, amelyek a műegyetemek gépész és építő mérnöki osztályainak első és második évfolyamain szoktak előadásra kerülni, még pedig azzal a könnyítéssel, hogy a könyv megértéséhez a matematikai analízisnek csak az alsóbb fokozatát kell ismerni. Tankönyvről lévén szó, a szerző — igen helyesen — követi azt az elvet, hogy a műszaki mechanika műveléséhez nemcsak a matematikai képletek használata, hanem az erőtani fogalmak (metszeti erő, nyugalmi állapot, egyensúly, alakváltozás, lehajlás, stb.) helyes érzékelése is szükséges. Ezért az erőtani fogalmakat nemcsak magyarázza, hanem számos jól megrajzolt ábrán is szemlélteti. Ezek közül megemlítjük a belső erők szemléltetését a 28. paragrafus ábráin, a Bernoulli-féle gerendamodell 31.6 és 31.7 ábráját, valamint a Saint-Venant féle elv érzékeltetését a 32.11 ábrán. Különösen alkalmasnak látszik e tankönyv a rezgéstani alapismereteinek elsajátítására. A második kötetre vonatkozó kritikai megjegyzéseink nagyjából erre a kötetre is vonatkoznak. Így például a „Theorie der Ersatzfedern” című fejezet 33.5 szakaszát a kezdő talán nem fogja megérteni, de a tanszéki oktató személyzet eredményesen használhatja. A módszeres megoldásokkal ellátott példagyűjtemény ebben a kötetben is épp olyan kiváló, mint a második kötetben.

*Dr. Barta József*

*H. Rühle:*

RÄUMLICHE DACHTRAGWERKE. KONSTRUKTION UND AUSFÜHRUNG

BAND 1. BETON, HOLZ, KERAMIK

VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, I. kötet: 1969, 320 oldal (A4), 357 ábra, 56 táblázat

A kiterjedt és egyre növekvő héjirodalom eddig újszólólván kizárólag a héjak elméletével és a héjak különböző méretezési eljárásaival foglalkozott, s csak kis részben terjedt ki a héjak szerkesztési elveinek és kiviteli technikájának ismertetésére. Ezt a hiányt igyekszik a neves szerző vezetése alatt álló kollektíva egy kétkötetes műben pótolni, oly könyvet bocsájtván a héjépítéssel foglalkozó mérnökök, építészek és konstruktőrök rendelkezésére, mely a héjépítészetnek eddig kevésbé megvilágított gyakorlati kérdéseinek tisztázására helyezi a fókuszot.

A könyv bevezető előszavát A. M. HAAS, az IASS illusztris elnöke írta.

A mű *első kötet*e a vasbetonból, téglából, illetve fából épült héjszerkezetekkel foglalkozik. Első fejezete a betonanyagú héjak szerkesztési problémáit tárgyalja. Részletesen foglalkozik a henger- és hullámhéjak szerkesztési elveivel, a lemezművek és héjívvek problémáival, a héjszerkezetű fűrésztetők, a forgáshéjak, a hiperbolikus paraboloidhéjak, a konoid és konoidszerű héjak konstrukciós elveivel, végül a különleges alakú héjakkal és az armocementhéjakkal kapcsolatos szerkesztési kérdésekkel. A beton anyagú héjak kivitelével foglalkozó második fejezet a helyszínen betonozott valamint az előgyártott elemekből épített héjak készítmény problémáit tárgyalja, ideértve az armocement szerkezetek építésével kapcsolatos különleges kérdéseket is. A tárgyalást a téglahéjakkal és a faserkezetű héjakkal foglalkozó fejezetek zárják le.

A könyv főértéke, hogy a héjak formai alakításának, szerkesztésének, erőjátékának és kiviteli technikájának kérdéseit a gazdaságossági és minőségi szempontok figyelembevételével szoros egységben tárgyalja, különös tekintettel az újszerű szerkezetek problémáira és azok különleges építésmódjára. Helyes súllyal mutat rá a héjépítészet nyújtotta különleges térlefedési lehetőségekre, s általában a különböző építésmódok előnyeiről és hátrányairól.

Értékesen egészítik ki a könyvet a héjépítészet történeti fejlődését bemutató táblázatok, a fejlődés irányait feltűntető összeállítások, az anyagszükségletről tájékoztató kimu-

tatások és mindenek előtt az igen gazdag, s rendkívül tanulságos kép- és ábraanyag. Ez a kép- és ábraanyag nemcsak az ábrázolt szerkezetek méreteit, alaprajzi elrendezését és nézetrajzát mutatja, hanem a szóban forgó építmények készítés közbeni és kész állapotát is, különös tekintettel a szerkezeti elrendezésre és a jellegzetes szerkezeti részletekre.

Végig tekintve a gazdag tartalmú könyvön, megállapítható, hogy a szerzői kollektíva e kötet megírásával igen jelentős, s valóban hézagpótló munkát végzett, összegyűjtve a világ nevezetesebb héjépitményeinek a szaklapokban fellelhető leírását és fontosabb adatait. E mű megírásához kitartó szorgalom, alapos szakismeret, helyes ítélőképesség és nagy áttekintés kellett, oly tulajdonságok, melyek szerencsésen összepontosulnak a kitűnő szerzői kollektíva vezetőjében, Dr. — Ing. H. RÜHLEBEN, az IASS végrehajtó bizottságának aktív tagjában.

Dr. Csonka Pál

Sitkei György:

## KEVERÉKKÉPZÉS ÉS ÉGÉS KARBURÁTOROS MOTOROKBAN

Akadémiai Kiadó, Budapest 1969.

Sitkei Györgynek, a műszaki tudományok doktorának — akinek nevét „A keverékképzés és égés Diesel-motorokban” című, 1960-ban megjelent, bel- és külföldön nagy sikert aratott műve tette ismertté — újabb munkája a „Keverékképzés és égés karburátoros motorokban”. Ez a műve szintén olyan műszaki tudományterületet ölel fel, amelyről ezideig magyar nyelvű összefoglaló munka nem jelent meg, sőt a legtöbb problémát jelentő égési folyamatoknak ilyen részletes és egységes szemléletű tárgyalása a külföldi irodalomban sem lelhető fel. A könyv főképpen azoknak ajánlható, akik a fizika-kémiai folyamatokban kívánnak elmélyülni, így elsősorban kutatómérnököknek.

A könyv a témakört 6 fejezetben, 177 oldalon, 197 ábrával kiegészítve dolgozza fel.

Az 1. fejezet a karburátoros motorok jelentőségét és általános jellemzőit foglalja röviden (4 o.) össze, érintve a rotációs motort is.

A 2. fejezet (16 o.) a karburátor feladatát, a tüzelőanyag porlasztását a karburátorban, áramlását a fúvókában, a levegő áramlását a karburátorban, az elemi karburátort s annak fogyatékoságait tárgyalja, majd a korrigáló és egyéb bevezetéseket.

A 3. fejezet 20 oldalon a benzin- tüzelőanyagok párolgási viszonyait vizsgálja, részletesen tárgyalva a benzin fizikai tulajdonságait, párolgásának főbb törvényszerűségeit, majd a szívócsőben lejátszódó párolgást, illetve annak hőmérsékletviszonyait.

A 4. fejezet (15 o.) keverékképzést többhengeres motor szem előtt tartásával vizsgálja különösen a töltéscsere és a keverési arány eloszlására vonatkozólag.

Az 5. fejezet a könyv legjelentősebb része, 102 oldalon az égés problémáira tér ki részletesen. Alaposan szemügyre veszi a kémiai, kinetika alapvető törvényeit, a motorokban előforduló gyújtási viszonyokat (szikragyújtás, gyújtás izzó felületen és detonációs hullámban). Megemlíti a keverék gyújtási határait, majd a tüzelőanyag- levegő keverékének öngyulladására és a szikragyújtásra tér át, amit számos egyenlettel támaszt alá.

A lamináris és a turbulens láng viszonyainak elemzésén keresztül eljut a láng zárt térben történő vizsgálatához.

Az inkább elvi jellegű fejtegetések után rátér a karburátoros motorban lejátszódó égésre és annak szemszögéből vizsgálja, kimutatva a turbulens jellemzőket az égésterben, az égés fázisait, valamint az égést befolyásoló kémiai és fizikai jellemzők hatását, kitérve a gazdaságosság és a normális égés követelményeire. Ezeket a fejtegetéseket a motoros gyakorlat számos mérési eredménye teszi igazán gazdaggá.

A 6. fejezetben (6. o.), ahogy az egyetlen köyvől sem hiányozhat, a kipufogógázok vizsgálatát találhatók, különös figyelemmel az egészség szempontjából oly káros szénmonoxid tartalomra.

A könyv írója munkájához 81 szerző ezirányú művét használta fel, amik felőlelik úgy a szovjet, mint a nyugati szakirodalmat.

Budapest, 1970. május 27.

Dr. Brodszky Dezső

*Dr. Simonyi Károly:*

# ELMÉLETI VILLAMOSSÁGTAN

5. javított és bővített kiadás, Budapest 1967, Tankönyvkiadó

Szerző hazai és külföldi viszonylatban egyaránt jól ismert és sikert aratott könyvének a célkitűzését változatlanul abban jelöli meg, hogy az a fizika elektrodinamikájának és a technikai részletproblémáknak valamilyen ötvözete, a kiadások során eszközölt változtatásokat pedig azzal indokolja, hogy éppen a célkitűzés állandósága követeli meg a tartalom állandó változtatását.

Ennek a leszögezése a könyv szokásos rövid címének a kiegészítéseként is felfogható olyan értelemben, hogy az pontosan definiálja a könyv tárgykörét, amit a cím egymaga csak bizonyos nyelvtérületeken definiál kellőképpen, míg más címekkel is jelölnek hasonló jellegű elméleti összefoglaló műveket.

A célkitűzés változatlansága mellett mindenekelőtt a különböző kiadásoknak még egy örvendetesen változatlan tulajdonságára szeretnénk rámutatni és ez a szigorúan szabatos tárgyalásmód.

A könyv tartalmának részletes ismertetése, annak tartalmi gazdagsága miatt túllépne egy rövid recenzió kereteit, de úgy hisszük, a könyv ismert volta miatt erre nincs is szükség. De talán a célt is jobban szolgálja, ha az előző kiadáshoz képest történt változtatásokra és azok értékelésére szorítkozunk.

Felépítés szempontjából a könyv szerkezeti változtatásokat tartalmaz. A bevezető részekről és az új V. zárórésztől eltekintve a könyv anyagát szerző továbbra is négy részre tagoltan építi fel, azonban az osztást más helyen eszközölte. Az első rész: „Általános áttekintés”, változatlan maradt. A második és harmadik rész „Elektrosztatika” és „Stacionárius és Kvázistacionárius folyamatok” helyett az előnyösebbnek mutatkozó „Statikus és Stacionárius Terek” ill. „Kvázistacionárius folyamatok” címet, illetőleg osztást részesíti előnybe. Ily módon a „Mágneses tér kiszámítása” c. fejezet „Stacionárius áramok mágneses tere” címen előrekerül a II. rész végére, kilővítve egy a szingularitásokra vonatkozó fejezettel. Átmenetet egy közbeiktatott új közbenső fejezetet képez: „Statikus tér anyag jelenlétében” címmel.

Ez az elektrosztatikus tér mellett már a magnetosztatikus térre is kitér és példákkal szolgál azok számítására anyag jelenlétében.

Ily módon a III. részben csak a „Hálózat analízis”, „A térbeli áramlás törvényei” és a „Távvezeték” maradnak meg. Ez módot nyújt a „Hálózatanalízis” c. fejezet bővebb, átfogóbb és ily módon kiforrottabb tárgyalására, ami mélyebb matematikai feltárást és az alapösszefüggések általánosabb megfogalmazását teszi lehetővé. Ezt a bővítést a térbeli áramokra vonatkozó fejezet lerövidítése kompenzálja bizonyos mértékig. Az „Elektromágneses Hullámok” c. IV. rész „Kerületértékek II. Csőhullámok” c. főfejezete ugyancsak lényeges bővítést mutat és pedig nemcsak terjedelemre, de a probléma és megoldásaiak további elmélyítésében is a „Csőhullámok ferritben” és a „Módusszerinti sorbafejtés” c. fejezetek beiktatásával.

Az új kiadás által nyújtott leglényegesebb többlet azonban a teljesen új V. rész. Ebben a „Befejező Áttekintés”-ben szerző az elektrodinamikának az I–IV. fejezetekben foglalt különállónak tekinthető részei között fennálló kapcsolatokat vizsgálja és megmutatja azok azonos fizikai és matematikai szemléletmódját. Különösen hasznos és újszerű kiegészítést jelent és egyúttal magasabb szempontokból való szemléletre nevel az V. rész további három fejezete, mely a klasszikus elektrodinamika kereteinek a szélesítése tekintetében nyújt iránymutató betekintést és vezérfonalat az e diszciplínákban való elmélyedéshez. E három fejezet közül az elsőben teljessé egészíti ki a klasszikus elektrodinamikát a relativisztikus elektrodinamika alapegyenleteinek az ismertetésével, ezáltal azt magasabbrendű zárt egységbe foglalva. A másodikban, a mechanika formanyelvére átvitt Maxwell-egyenletek révén a hidat építi meg az utolsó fejezethez. Ebben a kvantum-elektrodinamika elemeit vázolja fel a téma nehézsége ellenére igen jól követhető módon, ugyanakkor teljes szabotossággal. Különösen érdekes a fejezet utolsó pontja: a kvantum-elektrodinamika néhány eredményének a kvalitatív tárgyalása, melyben igen jól érzékelteti, hogy a legelvonatbannak látszó legújabb elméletekből is hogyan válnak ki fokozatosan azok a körvonalak, amelyek az elektrodinamika horizontját egyre szélesebben bontakoztatják ki. A tárgyalt diszciplínák kölcsönös kapcsolását a könyv végén egy igen hasznos áttekintő skéma foglalja össze.

Az anyag követését és áttekintését nagyon elősegíti a mű öt részét megelőző tartalmi összefoglalás.

A könyv hazai sikerét 5 kiadás bizonyítja, nemzetközi sikerét pedig három (német, orosz és angol) nyelven történt megjelentetése tanúsítja.

*Dr. Urbanek János*

## TARTALOMJEGYZÉK

|  |     |
|--|-----|
| <i>Csanádi György</i> , az MTA rendes tagja (Turányi I.) | 257 |
| <i>Kovács K. Pál</i> , az MTA rendes tagja (Geszt P. O.) | 261 |
| <i>Széchy Károly</i> , az MTA rendes tagja (Bogárdi J.)  | 265 |
| <i>Kéző Árpád</i> , az MTA levelező tagja (Széchy K.)    | 269 |
| <i>Prohászka János</i> , az MTA levelező tagja (Verő J.) | 275 |
| <i>Szabó János</i> , az MTA levelező tagja (Böleskei E.) | 279 |
| <i>Szendy Károly</i> , az MTA levelező tagja (Lévai A.)  | 283 |

## NEKROLÓG

|   |     |
|---|-----|
| <b>Haviár Győző</b> 1895—1970 (Széchy K.) | 287 |
|---|-----|

## TANULMÁNYOK

|   |     |
|---|-----|
| <i>Csanádi Gy.</i> : A nemzetközi közlekedéspolitikai elméleti és gyakorlati problémái                                  | 289 |
| <i>Csonka P.</i> : Gömbhéjak és forgásparaboloid-héjak erőjátéka közt fennálló analógia                                 | 307 |
| <i>Jándy G.</i> : Optimális döntés és irányítás   | 333 |
| <i>Starosolszky, Ö.</i> : Diffúzió és diszperzió a vízepítési hidraulikában   | 349 |
| <i>Czoboly E.</i> : A törésmechanika fejlődése és jelenlegi főbb irányai  | 391 |
| <i>Hornung A.</i> : A finommegmunkálások helyzete az iparilag fejlett országokban és hazánkban                          | 413 |
| <i>Szántay Balázs—Szentgyörgyi S.</i> : Tudományos helyzetkép a vegyipari gépek áramlás- és hőtechnikai vonatkozásairól | 439 |
| <i>Endrényi, S.</i> : Tudományos helyzetkép a szárítógépek áramlás- és hőtechnikai vonatkozásairól                      | 457 |
| <i>Fuchs E.</i> : A fémtani vizsgálatok jelenlegi helyzete  | 473 |

## KÖZLEMÉNYEK

|   |     |
|---|-----|
| <i>Szebeni Ö.</i> : Új célok, új utak a tudományos minősítésben | 489 |
| A TMB hírei   | 499 |

## KÖNYVSZEMLE

|  |     |
|--|-----|
| <i>Beleş, A. A.—Soare, M.</i> : Calculul Placilor Curbe Subțiri (Héjszerkezetek számítása) (Csonka P.) | 519 |
| <i>Franz, G.</i> : Beton-Kalender 1970 (Csonka P.)   | 519 |
| <i>Farkas, T.</i> : Corrosion Week (Czoboly E.)  | 520 |
| <i>Falk, S.</i> : Lehrbuch der technischen Mechanik Bd. II. (Barta J.)                                 | 521 |
| <i>Falk, S.</i> : Lehrbuch der technischen Mechanik Bd. III. (Barta J.)                                | 522 |
| <i>Rühle, H.</i> : Räumliche Dachtragwerke, Konstruktion und Ausführung (Csonka P.)                    | 522 |
| <i>Sitkei, Gy.</i> : Keverékképzés és égés karburátoros motorokban (Brodsky D.)                        | 523 |
| <i>Simonyi, K.</i> : Elméleti Villamosság (Urbanek J.)   | 524 |

## CONTENT

|   |     |
|---|-----|
| <i>Gy. Csanádi</i> : Member of the Hungarian Academy of Sciences (Turányi I.).....            | 257 |
| <i>K. P. Kovács</i> : Member of the Hungarian Academy of Sciences (Gesztli P. O.).....        | 261 |
| <i>K. Széchy</i> : Member of the Hungarian Academy of Sciences (Bogárdi J.).....              | 265 |
| <i>A. Kézdi</i> : Corresponding Member of the Hungarian Academy of Sciences (Széchy, K.)..    | 269 |
| <i>J. Prohászka</i> : Corresponding Member of the Hungarian Academy of Sciences (Verő, J.)..  | 275 |
| <i>J. Szabó</i> : Corresponding Member of the Hungarian Academy of Sciences (Bölcskei, E.)... | 279 |
| <i>K. Szendy</i> : Corresponding Member of the Hungarian Academy of Sciences (Lévai, A.)...   | 283 |

## OBITUARY

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gy. Haviár</b> 1895—1970 (Széchy, K.) ..... | 287 |
|--|-----|

## PAPERS

|  |     |
|--|-----|
| <i>Csanády, Gy.</i> : Theoretical and Practical Problems of International Traffic Policy.....  | 289 |
| <i>Csonka, P.</i> : Analogy Between the Stress States of Spherical Shells and Paraboloidal Shells of Revolution .....                      | 307 |
| <i>Jándy, G.</i> : Optimum Decision and Directing .....  | 333 |
| <i>Starosolszky, Ö.</i> : Diffusion and Dispersion in Hydraulic Engineering .....  | 349 |
| <i>Czoboly, E.</i> : Development and Further Outlook in Research Work of Fracture Mechanics  | 391 |
| <i>Hornung, A.</i> : The Situation of Fine Machining in the Advanced Industrial Countries and in Hungary .....                             | 413 |
| <i>Szántay, B.</i> — <i>Szentgyörgyi, S.</i> : Relations of Chemical Machinery with Fluid Mechanics and Thermodynamics .....               | 439 |
| <i>Endrényi, S.</i> : Scientific Review of the Situation on Fluid Mechanics and Thermal Engineering in the Field of Drying Machinery ..... | 457 |
| <i>Fuchs, E.</i> : The Present Situation of Metallurgical Investigations .....   | 473 |

## BOOK REVIEWS

|  |     |
|--|-----|
| <i>Beles, A. A.</i> — <i>Soare, M.</i> : Calculul Placilor Curbe Subtiri (Héjszerkezetek számítása) (Csonka, P.) ..... | 519 |
| <i>Franz, G.</i> : Beton-Kalender 1970 (Csonka, P.) .....  | 519 |
| <i>Farkas, T.</i> : Corrosion Werk (Choboly, E.) .....   | 520 |
| <i>Falk, S.</i> : Lehrbuch der Technischen Mechanik Bd. II. (Barta, J.) .....  | 521 |
| <i>Falk, S.</i> : Lehrbuch der technischen Mechanik Bd. III. (Barta, I.) .....   | 522 |
| <i>Bühle, H.</i> : Räumliche Dachtragwerke, Konstruktion und Ausführung (Csonka, P.) ...                               | 522 |
| <i>Sitkei, Gy.</i> : Keverékképzés és égés karburátoros motorokban (Brodzsky, D.) .....                                | 523 |
| <i>Simonyi, K.</i> : Elméleti Villamosság (Urbanek, J.) .....  | 524 |



## INHALTVERZEICHNIS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gy. Csanádi</b> ord. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Turányi, I.)   | 257 |
| <b>K. P. Kovács</b> ord. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Geszti P. O.) | 261 |
| <b>K. Széchy</b> ord. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Bogárdi, J.)     | 265 |
| <b>A. Kézdi</b> corresp. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Széchy, K.)   | 269 |
| <b>J. Prohászka</b> corresp. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Verő, J.) | 275 |
| <b>J. Szabó</b> corresp. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Bölcskei, E.) | 879 |
| <b>K. Szendy</b> corresp. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Lévai, A.)   | 283 |

### NEKROLOGE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gy. Haviár</b> 1895—1970 (Széchy, K.) | 287 |
|--|-----|

### ABHANDLUNGEN

|   |     |
|---|-----|
| <b>Csanádi, Gy.:</b> Theoretische und praktische Probleme der internationalen Verkehrspolitik   | 289 |
| <b>Csonka, P.:</b> Analogie bestehend zwischen dem Kräftespiel von Kugelschalen und den ihnen zugeordneten Rotationsparaboloidschalen | 307 |
| <b>Jándy, G.:</b> Optimale Entscheidung und Lenkung   | 333 |
| <b>Starosolszky, Ö.:</b> Diffusion und Dispersion in der Wasserbauhydraulik   | 349 |
| <b>Czoboly, E.:</b> Entwicklung und weitere Forschungsrichtungen der Bruchmechanik  | 391 |
| <b>Hornung, A.:</b> Die Lage der Feinbearbeitungen in den entwickelten Industrieländern und in Ungarn                                 | 413 |
| <b>Szántay, B.—Szentgyörgyi, S.:</b> Strömungs- und Wärmetechnische Beziehungen der Maschinen in der Chemieindustrie                  | 439 |
| <b>Endrényi, S.:</b> Wissenschaftliche Situation der Trockenmaschinen in Strömungs- und wärmetechnischer Beziehung                    | 457 |
| <b>Fuchs, E.:</b> Gegenwärtige Lage der metallkundlichen Untersuchungen   | 473 |

### BUCHBESPRECHUNG

|   |     |
|---|-----|
| <b>Beles, A. A.—Soare, M.:</b> Calculul Placilor Curbe Subtiri (Csonka, P.)         | 519 |
| <b>Franz, G.:</b> Beton-Kalender 1970 (Csonka, P.)                                  | 519 |
| <b>Farkas, T.:</b> Corrosion Week (Czoboly, E.)                                     | 520 |
| <b>Falk, S.:</b> Lehrbuch der technischen Mechanik Bd. II. (Barta, J.)              | 521 |
| <b>Falk, S.:</b> Lehrbuch der technischen Mechanik Bd. III. (Barta, J.)             | 522 |
| <b>Rühle, H.:</b> Räumliche Dachtragwerke, Konstruktion und Ausführung (Csonka, P.) | 522 |
| <b>Sütkei, Gy.:</b> Keverékképzés és égés karburátoros motorokban (Brodszky D.)     | 523 |
| <b>Simonyi, K.:</b> Elméleti Villamosság-tan (Urbanek, J.)                          | 524 |

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <i>Дьердь Чанади</i> , академик АН Венгрии (Турани, И.)  | 257 |
| <i>К. Пал Ковач</i> , академик АН Венгрии (Гести, П. О.) | 261 |
| <i>Карой Сечи</i> , академик АН Венгрии (Богарди, Й.)    | 265 |
| <i>Арпад Кезди</i> , член-корр. АН Венгрии (Сечи, К.)    | 269 |
| <i>Янош Прохаска</i> , член-корр. АН Венгрии (Верэ, Й.)  | 275 |
| <i>Янош Сабо</i> , член-корр. АН Венгрии (Бельчкен, З.)  | 279 |
| <i>Карой Сенди</i> , член-корр. АН Венгрии (Леваи, А.)   | 283 |

### НЕКРОЛОГ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Д. Хавиар.</b> (1895—1970) ( <i>Сечи, К.</i> ) | 287 |
|---|-----|

### РАБОТЫ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Чанади, Д.</i> : Теоретические и практические проблемы международной транспортной политики   | 289 |
| <i>Чонка, П.</i> : Аналогия, существующая между работой сил сферических оболочек и оболочек в виде параболоида вращения                           | 307 |
| <i>Янди, Г.</i> : Оптимальные решение и руководство   | 333 |
| <i>Штарошольски, Э.</i> : Диффузия и дисперсия в гидростроительной гидравлике   | 349 |
| <i>Цобой, Е.</i> : Развитие механики излома и теперешние ее основные направления  | 351 |
| <i>Хорнунг, А.</i> : Положение точной обработки в промышленно развитых странах и в Венгрии  | 413 |
| <i>Сантаи, Б., Сентдьерди Ш.</i> : Научное положение в отношении аэродинамических и теплотехнических зависимостей машин химической промышленности | 439 |
| <i>Эндрени, Ш.</i> : Научное положение в отношении аэродинамических и теплотехнических зависимостей сушильных машин                               | 457 |
| <i>Фукс, Е.</i> : Теперешнее положение в области исследований по металлосведению  | 473 |

### СООБЩЕНИЯ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Себени, Э.</i> : Новые цели, новые пути в научной аттестации | 489 |
| Вести Научной аттестационной комиссии                           | 499 |

### ОБЗОР КНИГ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Велеш, А. А., Шор, М.</i> : Расчет оболочечных конструкций (Calculul Placilor Curbe Subtiri) [Чонка, П.]   | 519 |
| <i>Франц, Г.</i> : Бетонный ежегодник 1970 (Beton-Kalender 1970) [Чонка, П.]  | 519 |
| <i>Фаркаш, Т.</i> : Коррозия (Corrosion Week) [Цобой, Е.]   | 520 |
| <i>Фальк, Ш.</i> : Учебник по технической механике. том II (Lehrbuch der Technischen Mechanik Bd. II.) [Барта, Й.]  | 521 |
| <i>Рюле, Г.</i> : Пространственные крышеские несущие конструкции, конструкция и исполнение (Räumliche Dachtragwerke, Konstruktion und Ausführung) [Чонка, П.] | 522 |
| <i>Ситкеи, Д.</i> : Образование смеси и горение в карбюраторных двигателях (Keverék-képzés és égés karburátoros motorokban) [Бродски, Д.]                     | 523 |
| <i>Шимони, К.</i> : Теоретическая электротехника (Elméleti Villamosságтан) [Урбанек, Й.]  | 524 |



